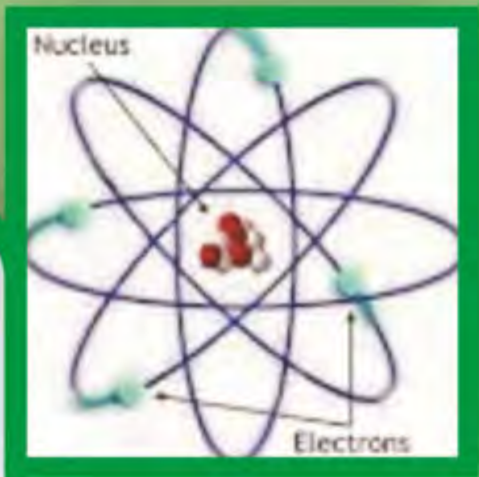
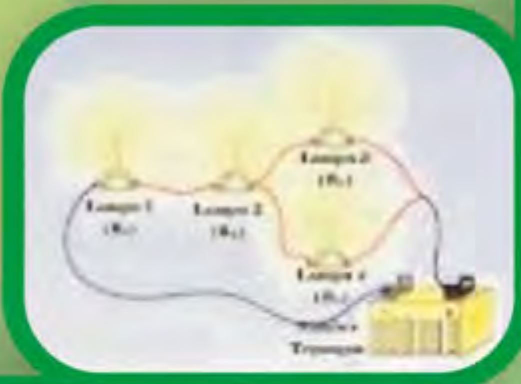
Agah Sutiagah
Farid Mulyana

Teknik Kelistrikan dan Elektronika Instrumentasi

Buku 1







2013

PENULIS

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Alloh SWT, dengan tersusunnya buku Teknik Kelistrikan dan Elektronika Instrumentasi ini semoga dapat menambah khasanah referensi khususnya di bidang tekologi industri yang akhir-akhir berkembang begitu pesatnya di Indonesia.

Isi buku ini sengaja disajikan secara praktis dan lengkap sehingga dapat membantu para siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), guru serta para praktisi industri. Teknik Kelistrikan dan Elektronika Instrumentasi yang selama ini dideskripsikan secara variatif dan adaptif terhadap perkembangan serta kebutuhan berbagai kalangan praktisi industri. Penekanan dan cakupan bidang yang dibahas dalam buku ini sangat membantu dan berperan sebagai sumbangsih pemikiran dalam mendukung pemecahan permasalahan yang selalu muncul didalam mempelajari dasar-dasar instrumentasi.

Oleh karena itu, buku ini disusun secara integratif antar disiplin ilmu yaitu teknik kelistrikan dan elektronika instrumentasi yang saling mendukung sehingga skill yang diperlukan terkait satu dengan lainnya.

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu materi naskah serta dorongan semangat dalam penyelesaian buku ini. Kami sangat berharap dan terbuka untuk masukan serta kritik konstruktif dari para pembaca sehingga dimasa datang buku ini lebih sempurna dan implementatif.

Tim Penulis

DAFTAR ISI

PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU BAHAN AJAR

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah pelajaran yang dirancang sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul *Teknik Kelistrikan dan Elaktronika Instrumentasi* ini merupakan dasar program keahlian yang digunakan untuk mendukung pada mata pelajaran yang ada di Program Keahlian Teknik Instrumentasi Industri, untuk SMK Paket Keahlian Kontrol Proses, Kontrol Mekanik dan Teknik Instrumentasi Logam yang diberikan pada kelas X.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam kurikulum 2013, siswa diharuskan dan diberanikan untuk mencari dari sumber belajar Lain Yang tersedia dan terbentang luas disekitarnya. ; peran guru sangan penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkaya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan “dokumen hidup” yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI (KELAS X)	KOMPETENSI DASAR
KI-1 Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1 Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama dalam melaksanakan pekerjaan di bidang teknik kelistrikan dan elektronika instrumentasi
KI-2 Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Memiliki motivasi internal, kemampuan bekerjasama, konsisten, rasa percaya diri, dan sikap toleransi dalam perbedaan konsep berpikir, dan strategi menyelesaikan masalah dalam melaksanakan pekerjaan di bidang teknik kelistrikan dan elektronika instrumentasi
	2.2. Mampu mentransformasi diri dalam berperilaku: teliti, kritis, disiplin, dan tangguh mengadapi masalah dalam melakukan tugas di bidang teknik kelistrikan dan elektronika instrumentasi
	2.3. Menunjukkan sikap bertanggung jawab, rasa ingin tahu, santun, jujur, dan perilaku peduli lingkungan dalam melakukan tugas di bidang teknik kelistrikan dan elektronika instrumentasi
KI-3 Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1 Menerapkan prinsip dasar kelistrikan dan elektronika pada sistem instrumentasi kontrol proses.
	3.2 Menerapkan hukum kelistrikan dan elektronika pada sistem instrumentasi kontrol proses
	3.3 Menerapkan konsep,teori dan hukum kemagnetan pada sistem instrumentasi kontrol proses.
	3.4 Menerapkan prinsip pengukuran besaran listrik berdasarkan azas kerja alat ukur listrik
	3.5 Mimilih alat ukur kelistrikan instrumentasi kontrol proses sesuai fungsi dan prosedur
	3.6 Memilih komponen elektronika pada sistem instrumentasi industri
	3.7 Memilih komponen semikonduktor pada sistem instrumentasi industri

KOMPETENSI INTI (KELAS X)	KOMPETENSI DASAR
	3.8 Menganalisis kerja rangkaian arus searah pada sistem instrumentasi kontrol proses.
	3.9 Menganalisis rangkaian arus bolak-balik pada sistem instrumentasi industri

C. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (saintifik). Langkah-langkah pendekatan ilmiah (scientific approach) dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melalui pengamatan, bertanya, percobaan kemudian mengolah data dan informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melali buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa ?, bagaimana ?, dan mengapa ?. terkait dengan masalah konsep-konsep dasar listrik dan elektronika dan penggunaannya. Langkah awal untuk mempelajari konsep-konsep tersebut adalah dengan melakukan pengamatan (observasi). Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistimatis merupakan kegiatan pembelajaran yang sangat aktif, inovatif, kreatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Dengan demikian melalui dan melaksanakan penyelidikan lanjutan ini, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati.

Dengan keterampilan ini, kalian dapat mengetahui bagaimana mengumpulkan fakta dan menghubungkannya untuk membuat suatu penafsiran atau kesimpulan. Keterampilan ini juga merupakan keterampilan belajar sepanjang hayat dapat digunakan bukan saja untuk

mempelajari berbagai macam ilmu, tetapi juga dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Pengamatan

Melibatkan pancaindra, termasuk melakukan pengukuran dengan alat ukur yang sesuai. Pengamatan dilakukan untuk mendapatkan data dan informasi.

Membuat inferensi

Merumuskan penjelasan berdasarkan pengamatan. Penjelasan ini digunakan untuk menemukan pola-pola atau hubungan-hubungan antara aspek yang diamati, serta membuat prediksi,

Mengkomunikasikan

Mengomunikasikan hasil penyelidikan baik lisan maupun tulisan. Hal yang dikomunikasikan termasuk data yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, bagan, dan gambar yang relevan.

Buku bahan ajar “Teknik Kelistrikan dan Elektronika Instrumentasi” ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas X, semester ganjil dan genap, mencakup kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.9 dan 4.9 yang terbagi menjadi 10 Bab, yaitu (1) Arus Listrik dan Arus Elektron (2) Hukum-hukum Kelistrikan (3) Teori Kemagnetan (4) Resistor, (5) Kapasitor, (6) Induktor, (7) Dioda, (8) Transistor, (9) Silicon Controlled Rectifier (SCR), (10) Diac, Triac dan UJT.

BAB 1

Arus Listrik Dan Arus Elektron

Dalam kehidupan sehari-hari,kita dapat mendengarkan radio, menonton televisi, menggunakan kulkas, dan setrika listrik. Pernahkah Anda mengamati rangkaian listrik pada radio, televisi, kulkas, atau setrika ? Pernahkah Anda berpikir mengapa radio, televisi, kulkas, atau setrika dapat berfungsi ?

Penggunaan alat-alat tersebut memerlukan listrik. Arus Listrik terjadi karena adanya perpindahan muatan-muatan listrik. Listrik dibedakan menjadi listrik statis (listrik tak mengalir) dan listrik dinamis (listrik mengalir). Listrik statis atau elektrostatika merupakan bagian dari ilmu listrik yang mempelajari sifat-sifat muatan listrik.

Bagaimanakah Listrik statis terjadi ?

Lakukan percobaan berikut :

1. *Sebatang plastik digosokkan pada kain beberapa saat. Dekatkan batang plastik pada potongan kertas kecil.*

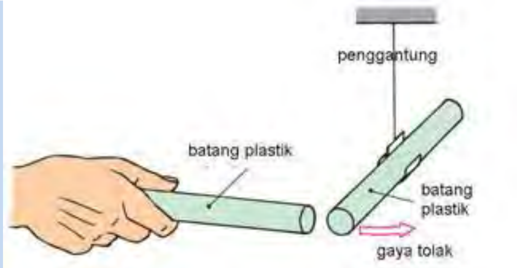
   Apa yang terjadi dari percobaan tersebut ?



Gambar 1.1

2. *Batang plastik digantung bebas dengan benang, batang plastik lainnya digosokkan dengan bulu binatang dan dekatkan ke batang plastik tergantung.*

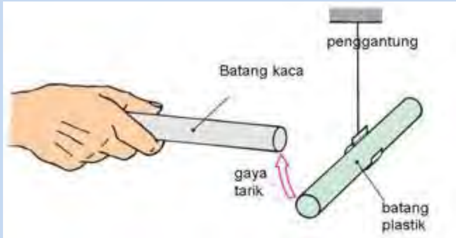
   Apa yang terjadi dari percobaan tersebut ?



Gambar 1.2

3. *Batang plastik digantung bebas dengan benang. Batang kaca digosokkan dengan kain sutra dan dekatkan kebatang plastik tergantung.*

   Apa yang terjadi dari percobaan tersebut ?



Gambar 1.3

Catat hasil pengamatan tersebut. Apa yang dapat kamu simpulkan dari percobaan tersebut ? Komunikasikan hasil pengamatanmu kepada orang lain. Diskusikan dalam kelompukmu mengapa hal tersebut dapat terjadi.

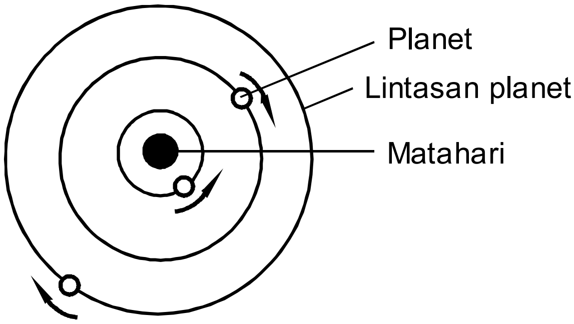
1. Muatan Listrik

1.1 Atom dan elektron

Kita potong-potong suatu benda padat, misalnya tembaga, kedalam bagian-bagian yang selalu lebih kecil, dengan demikian maka pada akhirnya kita dapatkan suatu atom. Kata atom berasal dari bahasa Yunani dan berarti “tidak dapat dibagi”.

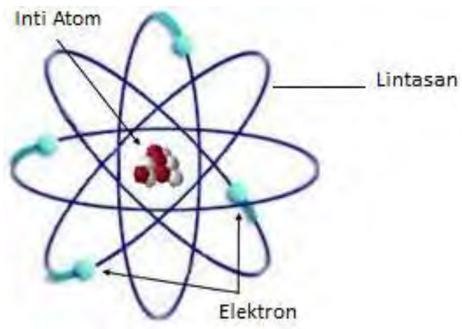
Dalam beberapa waktu kemudian barulah dapat ditemukan buktinya melalui percobaan, bahwa benda padat tersusun atas atom. Dari banyak hasil percobaan ahli fisika seperti *Rutherford* dan *Bohr* menarik

kesimpulan, bahwa suatu atom harus tersusun mirip seperti sistim tata surya kita (gambar 1.4).



Gambar 1.4 Model sistem tata surya

Dari gambaran model ini atom terdiri atas matahari sebagai *inti atom* dan disekitar inti pada lintasan berbentuk lingkaran atau ellips beredar planet sebagai *elektron-elektron*. Lintasannya mengelilingi inti dan membentuk sesuatu yang disebut dengan *kulit elektron* (gambar 1.5).



Gambar 1.5 Model atom

Elektron-elektron pada kulit terluar disebut elektron valensi, mereka terletak paling jauh dari inti dan oleh karena itu paling baik untuk dipengaruhi dari luar.

1.2 Muatan listrik - Pembawa muatan

Elektron mengelilingi inti atom dengan kecepatan yang sangat tinggi (± 2200 km/det.). Pada gerakan melingkar, meski berat elektron tidak seberapa, maka disini harus bertindak suatu gaya sentrifugal yang relatip

besar, yang bekerja dan berusaha untuk melepaskan elektron keluar dari lintasannya. Sekarang tenaga apakah yang menahan elektron tetap pada lintasannya mengitari inti ?

Tenaga yang menahan bumi tetap pada lintasannya adalah grafitasi. Grafitasi antara elektron-elektron dan inti atom belum mencukupi, sebagaimana terbukti secara perhitungan, dan tidak dapat menahan elektron-elektron yang terjauh untuk tetap pada lintasannya. Oleh karena itu disini harus bertindak suatu tenaga lain, yaitu tenaga listrik.

Diantara inti atom dan elektron terdapat tenaga listrik.

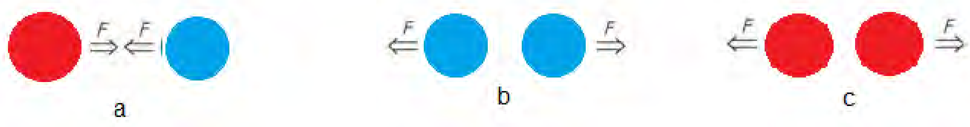
Tenaga listrik semacam ini sederhana membuktikannya. Kita gosokkan penggaris mika (bahan sintetis/plastik) dengan suatu kain wol, maka pada bahan ini bekerja suatu gaya tarik terhadap kertas, yang pada prinsipnya lebih besar daripada tenaga grafitasi.

Yang bertanggung jawab terhadap tenaga listrik kita sebut muatan listrik.

Terhadap inti atom, elektron bersifat menjalankan suatu tenaga listrik. Jadi elektron memiliki muatan listrik. Kita katakan elektron sebagai suatu *pembawa muatan.*

Oleh karena inti atom juga mempunyai sifat menjalankan tenaga listrik, maka inti atom juga mempunyai muatan listrik.

Hal ini terbukti bahwa elektron-elektron tidak saling tarik-menarik, melainkan tolak-menolak. Demikian pula tingkah laku inti atom (gambar 1.6).

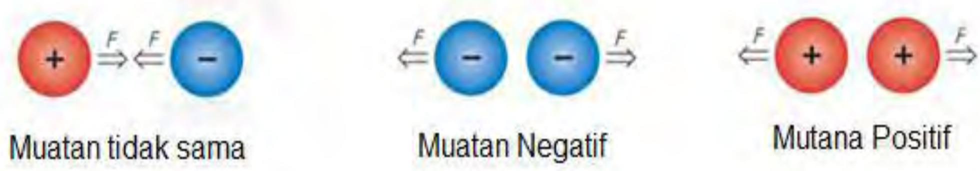


Gambar 1.6 Efek dinamis antara :
a) inti atom dan elektron
b) elektron-elektron
c) inti-inti atom

Oleh karena elektron-elektron saling tolak-menolak, inti atom dan elektron saling tarik-menarik, maka inti atom harus berbeda muatan dengan elektron, artinya membawa suatu jenis muatan yang berbeda dengan muatan elektron.

Muatan inti atom dinamakan muatan positip dan muatan elektron dinamakan muatan negatip. Dengan demikian untuk muatan listrik berlaku :

> Muatan-muatan yang sama saling tolak-menolak, muatan-muatan yang berbeda saling tarik-menarik.



Gambar 1.7 Efek dinamis muatan-muatan listrik

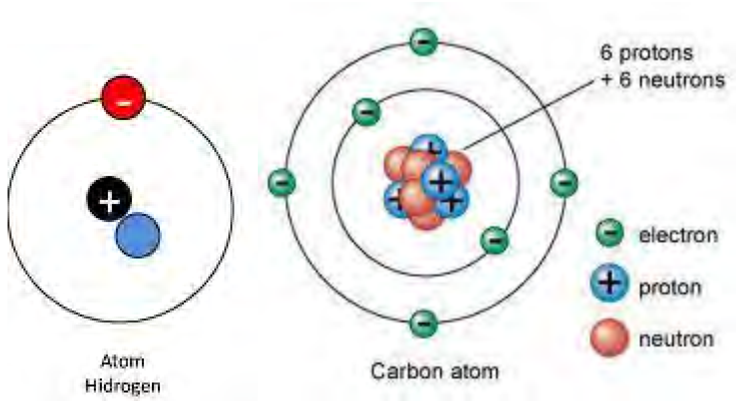
1.3 Atom netral - Susunan atom

Atom hidrogen memperlihatkan susunan yang paling sederhana. Terdiri atas sebuah *elektron* dan sebuah *proton* (biasa disebut inti atom).

Elektron sebagai pembawa muatan listrik terkecil dinamakan *muatan elementer.*

Elektron adalah pembawa muatan elementer negatip, proton merupakan pembawa muatan elementer positip.

a. b.



Gambar 1.8 Gambar skema atom:
a) atom hidrogen
b) atom karbon

Muatan elementer negatip elektron sama besarnya dengan muatan elementer positip proton. Oleh karenanya muatan-muatan atom memiliki pengaruh yang persis sama. Atom secara listrik bersifat *netral.*

Atom netral terdiri atas muatan positip yang sama banyaknya dengan muatan negatip.

Atom karbon misalnya memiliki 6 elektron dan juga 6 proton. Selain proton inti atom juga mengandung bagian yang secara listrik bersifat netral, yang biasa disebut dengan *netron*. Proton dan netron menentukan berat atom yang sebenarnya .

Atom yang lain semuanya berjumlah 103 buah dengan susunan yang hampir sama. Pembagian elektron pada lintasan elektron berdasarkan pada aturan tertentu. Namun jumlah elektron tetap selalu sama dengan jumlah proton.

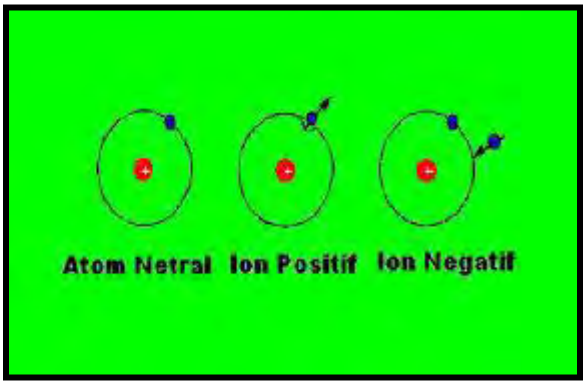
1.4 Ion

Atom kehilangan sebuah elektron, dengan demikian maka atom tersebut memiliki lebih banyak muatan positifnya dari pada muatan negatip. Atom yang secara utuh bermuatan positif, melaksanakan suatu reaksi listrik, yaitu menarik muatan negatif.

Atom yang ditambah/diberi sebuah elektron, maka secara utuh dia bermuatan negatip dan menarik muatan positif.

Atom yang bermuatan seperti ini sebaliknya dapat juga menarik muatan yang berbeda, berarti atom tersebut bergerak. Atas dasar inilah maka atom seperti ini dinamakan *ion* (ion = berjalan, bhs. Yunani).

Atom bermuatan positif maupun negatif atau kumpulan atom disebut ion.



Gambar 1.9
Skema pembentukan ion

Dapat disimpulkan bahwa :

Kelebihan elektron menghasilkan muatan negatip, kekurangan elektron menghasilkan muatan positip.

2. Arus, Tegangan Dan Tahanan Listrik

Pada kehidupan sehari-hari, Anda sering menjumpai adanya rangkaian listrik, mulai dari rangkaian listrik yang sederhana sampai

rangkaian yang sangat rumit. Pernahkah Anda mengamati rangkaian listrik pada lampu senter, radio, atau televisi? Pernahkah Anda berpikir mengapa lampu senter, radio, dan televisi dapat berfungsi?

Coba kalian perhatikan gambar gardu listrik di bawah ini.



Kabel-kabel besar menghubungkan satu tempat dengan tempat lain dengan tegangan tinggi. Bagaimana seorang tukang listrik merangkai kabel itu agar tidak membahayakan? Dan bagaimana listrik dapat sampai ke rumah kalian? Untuk mengetahuinya ikuti uraian berikut.

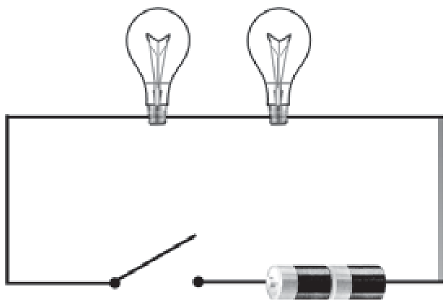
2.1. Arus Listrik

Listrik sudah ada sejak adanya jagat raya ini, bahkan saat kehidupan di planet ini belum ada. Kilatan petir yang sangat kuat dapat menerangi langit. Petir merupakan fenomena alam yang menunjukkan adanya energi listrik.

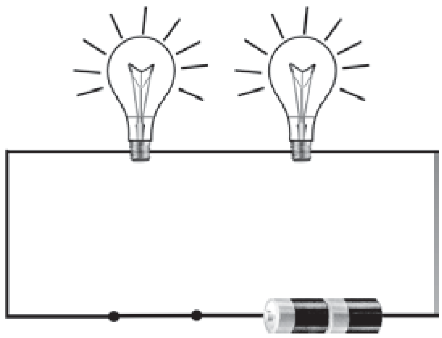
Sejalan dengan berkembangnya kehidupan, listrik menjadi bagian yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Hampir seluruh peralatan yang digunakan manusia memanfaatkan bantuan energi listrik. Listrik pada dasarnya dibedakan menjadi dua macam, yaitu **listrik statis** (berkaitan dengan muatan listrik dalam keadaan diam) dan **listrik dinamis** (berkaitan dengan muatan listrik dalam keadaan bergerak). Pada saat sakelar pada suatu rangkaian listrik ditutup, lampu akan menyala, dan sebaliknya saat sakelar dibuka lampu mati. Mengapa demikian?

Listrik terbentuk karena energi mekanik dari generator yang menyebabkan perubahan medan magnet di sekitar kumparan. Perubahan ini menyebabkan timbulnya aliran muatan listrik pada kawat/penghantar. Aliran muatan listrik pada kawat Anda kenal sebagai arus listrik. Aliran muatan dapat berupa muatan positif (proton) dan muatan negatif (elektron). Aliran listrik yang mengalir pada penghantar dapat berupa arus searah atau *direct current* (DC) dan dapat berupa arus bolak-balik atau *alternating current* (AC).

Pada dasarnya rangkaian listrik dibedakan menjadi dua, yaitu rangkaian listrik terbuka dan rangkaian listrik tertutup. Rangkaian listrik terbuka adalah suatu rangkaian yang belum dihubungkan dengan sumber tegangan, sedangkan rangkaian listrik tertutup adalah suatu rangkaian yang sudah dihubungkan dengan sumber tegangan.



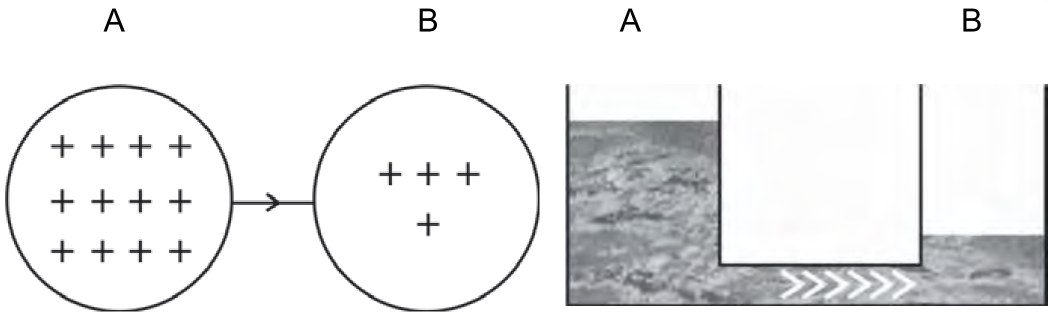
a. Rangkaian terbuka



b. Rangkaian tertutup

Gambar. 1.10 Rangkaian listrik

Pada rangkaian listrik tertutup, terjadi aliran muatan-muatan listrik. Aliran muatan listrik positif identik dengan aliran air. Perhatikan gambar berikut :



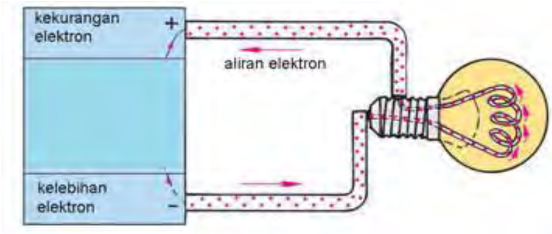
a. Aliran listrik   b. Aliran air

Gambar 1.11 Aliran muatan positif dari A ke B identik dengan aliran air dari A ke B

Air dalam bejana A mempunyai energi potensial lebih tinggi daripada air dalam bejana B, sehingga terjadi aliran air dari bejana A menuju bejana B atau dikatakan bahwa potensial di A lebih tinggi daripada potensial di B sehingga terjadi aliran muatan listrik dari A ke B. Jadi, dapat dikatakan bahwa muatan listrik positif mengalir dari titik berpotensial tinggi ke titik berpotensial rendah. Selanjutnya, aliran muatan listrik positif tersebut dinamakan *arus listrik*. Jadi, arus listrik dapat didefinisikan sebagai aliran muatan positif dari potensial tinggi ke potensial rendah. Arus listrik terjadi apabila ada perbedaan potensial. Bagaimana bila dua titik yang dihubungkan mempunyai potensial yang sama? Tentu saja tidak ada aliran muatan listrik positif atau tidak terjadi arus listrik.

Anda pasti berpikir bagaimana halnya dengan muatan listrik negatif? Apakah muatan listrik negatif tidak dapat mengalir? Pada perkembangan selanjutnya, setelah elektron ditemukan oleh ilmuwan fisika J.J. Thompson (1856–1940), ternyata muatan yang mengalir pada suatu penghantar bukanlah muatan listrik positif, melainkan muatan listrik negatif yang disebut *elektron*. Arah aliran elektron dari potensial rendah ke potensial tinggi (berlawanan dengan arah aliran muatan positif). Namun hal ini tidak menjadikan masalah, karena banyaknya elektron yang mengalir dalam suatu penghantar sama dengan banyaknya muatan listrik positif yang mengalir, hanya arahnya yang berlawanan. Jadi, arus listrik

tetap didefinisikan berdasarkan aliran muatan positif yang disebut *arus konvensional*.



Gambar 1.12 Arus elektron

2.2. Kuat Arus Listrik

Anda telah mengetahui tentang pengertian arus listrik, yaitu aliran muatan listrik positif pada suatu penghantar dari potensial tinggi ke potensial rendah. Agar lebih memahami tentang arus listrik, lakukanlah percobaan berikut :



1. *Rangkailah bola lampu dan sebuah baterai dengan menggunakan kabel di atas papan kayu seperti pada gambar di samping!*
2. *Amatilah nyala bola lampu!*
3. *Lakukan kegiatan di atas dengan menggunakan 2 baterai dan 3 baterai!*
4. *Bandingkan nyala bola lampu!*
5. *Apa kesimpulan Anda?*

Catat hasil percobaan tersebut. Apa yang dapat kamu simpulkan dari percobaan tersebut ? Komunikasikan hasil pengamatanmu kepada orang lain. Diskusikan dalam kelompukmu mengapa hal tersebut dapat terjadi.

Pada baterai terdapat dua kutub yang potensialnya berbeda. Jika kedua kutub tersebut dihubungkan dengan lampu melalui kabel, maka

akan terjadi perpindahan elektron dari kutub negatif ke kutub positif atau terjadi arus listrik dari kutub positif ke kutub negatif, sehingga lampu dapat menyala.

Selanjutnya, jika baterai yang digunakan dua buah, maka lampu akan menyala lebih terang. Jika baterai yang digunakan tiga buah, maka lampu menyala makin terang. Mengapa demikian? Hal ini disebabkan beda potensial kutub positif dan kutub negatifnya makin besar sehingga muatan-muatan listrik yang mengalir pada penghantar makin banyak atau arus listriknya makin besar. Besarnya arus listrik (disebut kuat arus listrik) sebanding dengan banyaknya muatan listrik yang mengalir. Kuat arus listrik merupakan kecepatan aliran muatan listrik. Dengan demikian, yang dimaksud dengan kuat arus listrik adalah jumlah muatan listrik yang melalui penampang suatu penghantar setiap satuan waktu. Bila jumlah muatan *q* melalui penampang penghantar dalam waktu *t*, maka kuat arus *I* secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$I = \frac{q}{t} \text{ atau } q = I \times t$$

Keterangan :

I : kuat arus listrik (A)

q : muatan listrik yang mengalir (C)

t : waktu yang diperlukan (s)

Berdasarkan persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa *satu coulomb* adalah muatan listrik yang melalui sebuah titik dalam suatu penghantar dengan arus listrik tetap satu ampere dan mengalir selama satu sekon.

Mengingat muatan elektron sebesar $-1{,}6 \times 10^{-19}$ C, (tanda negatif (-) menunjukkan jenis muatan negatif), maka banyaknya elektron (*n*) yang menghasilkan muatan 1 coulomb dapat dihitung sebagai berikut.

$1\ C = n \times$ besar muatan elektron

$1\ C = n \times 1{,}6 \times 10^{-19}\ C$

$n = \frac{1}{1{,}6 \times 10^{-19}}$

$n = 6{,}25 \times 10^{18}$

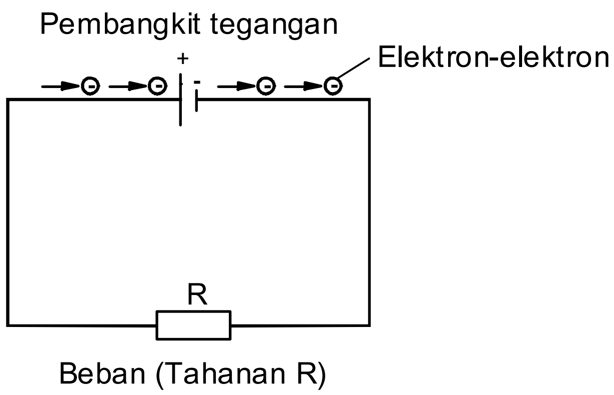
Jadi, dapat dituliskan $1\ C = 6{,}25 \times 10^{18}$ elektron.

2.3. Arah arus

a. Arah arus elektron

Kita buat suatu rangkaian arus listrik tertutup, dengan demikian didapatkan suatu proses sebagai berikut :

Pada kutub negatif pembangkit tegangan (kelebihan elektron), elektron bebas pada ujung penghantar didorong menuju beban. Pada kutub positip (kekurangan elektron) elektron bebas pada ujung penghantar yang lain tertarik. Dengan demikian secara umum terjadi arus elektron dengan arah tertentu.



Gambar 1.13

Arah arus elektron

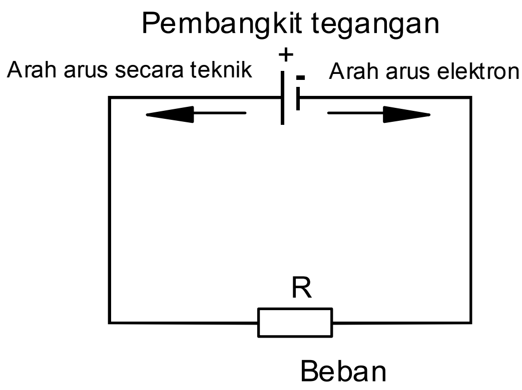
Arus elektron mengalir dari kutub negatip pembangkit tegangan

melalui beban menuju kutub positip.

b. *Arah arus secara teknik*

Pengetahuan teori elektron zaman dulu menduga bahwa sebagai penanggung jawab terhadap mekanisme penghantaran didalam logam adalah pembawa muatan positip dan oleh karenanya arus mengalir dari kutub positip melalui beban menuju kutub negatip. Jadi berlawanan dengan arus elektron yang sebenarnya sebagaimana diutarakan dimuka. Meskipun pada saat ini telah dibuktikan adanya kekeliruan anggapan pada mulanya, namun didalam teknik listrik untuk praktisnya anggapan arah arus tersebut tetap dipertahankan. Sehingga ditemui adanya perbedaan antara *arah arus elektron* terhadap *arah arus secara teknik* atau secara umum juga disebut arah arus.

Arus listrik mengalir dari kutub positip pembangkit tegangan melalui beban menuju kutub negatip.



Gambar 1.14
Arah arus elektron dan Arah arus secara teknik

c. Kuat arus

Semakin banyak elektron-elektron yang mengalir melalui suatu penghantar dalam tiap detiknya, maka semakin besar pula kekuatan arus listriknya, biasa disebut *kuat arus.*

Arus sebanyak 6,24 triliun elektron ($6{,}24 \cdot 10^{18}$) tiap detik pada luas penampang penghantar, maka hal ini dikenal sebagai kuat arus 1 *Ampere.*

Dengan demikian dapat dikatakan :

$$\text{Kuat arus} = \frac{\text{Muatan listrik}}{\text{Waktu}}$$

Ampere adalah satuan dasar yang sah untuk kuat arus listrik

Sudah menjadi kebiasaan dalam keteknikan, supaya lebih sederhana maka besaran-besaran teknik seperti misalnya kuat arus diganti dengan *simbol formula* dan demikian pula untuk simbol nama satuan (*simbol satuan*).

Simbol formula untuk kuat arus adalah ***I***

Simbol satuan untuk Ampere adalah ***A***

Pembagian dan kelipatan satuan :

1 kA	= 1 Kiloampere	= 1000 A	= 10^{3} A
1 mA	= 1 Milliampere	= 1/1000 A	= 10^{-3} A
1 μA	= 1 Mikroampere	= 1/1000000 A	= 10^{-6} A

Pada "undang-undang tentang besaran dalam hal pengukuran" sejak 2 Juli 1969 kuat arus listrik ditetapkan sebagai *besaran dasar* dan untuk *satuan dasar* 1 Ampere didefinisikan dengan bantuan reaksi tenaga arus tersebut

Kuat arus dalam teknik listrik berkisar pada jarak yang sangat luas :

Lampu pijar : 100 s.d. 1000 mA

Motor listrik : 1 sampai 1000 A

Peleburan : 10 s.d. 100 kA

Pesawat telepon : beberapa μA

d. Muatan listrik

Jumlah muatan elementer (biasanya pada peristiwa kelistrikan turut serta bermilyar-milyar elektron dan dengan demikian berarti muatan elementer) menghasilkan suatu *muatan listrik* tertentu (simbol formula Q).

Satuan muatan listrik ditetapkan 1 *Coulomb* (simbol C). Dalam hal ini berlaku :

$$1\ \text{C} = 6{,}24 \ .\ 10^{18}\ \text{muatan elementer}$$

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa

$$\text{Kuat arus } I = \frac{\text{Muatan listrik } Q}{\text{Waktu } t}$$

berarti : *Kuat arus* $I = \frac{Q}{t}$

Kita uraikan persamaan tersebut kedalam Q, sehingga menjadi $Q = I \cdot t$

Dengan demikian faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya muatan listrik Q ditentukan oleh arus *I* dan waktu *t*.

Dalam pada itu kita pasang arus *I* dalam *A* dan waktu *t* dalam *s*, sehingga diperoleh satuan muatan listrik adalah 1 As, yang berarti sama dengan 1 C.

1 Coulomb = 1 Ampere sekon

1 C = 1 As

Contoh :

Sebuah aki mobil diisi dengan 2,5 A.

Berapa besarnya muatan listrik aki tersebut setelah waktu pengisian berlangsung selama 10 jam ?

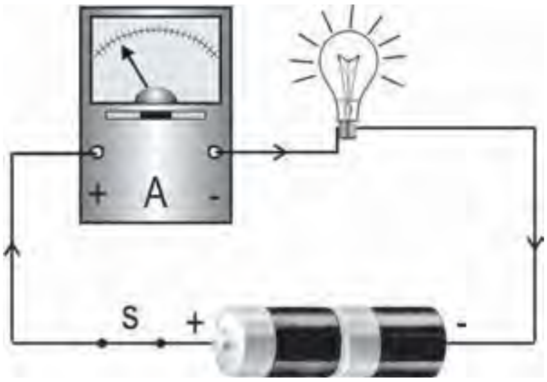
Jawaban :

$Q = I \cdot t$

Q = 2,5 A . 10 h = <u>25 Ah</u> = 25 A . 3600 s = <u>90.000 As</u> = <u>90.000 C</u>

e. Mengukur Kuat Arus Listrik

Bagaimana cara mengetahui besarnya arus listrik? Alat yang dapat digunakan untuk mengetahui kuat arus listrik adalah *amperemeter*. Pada pengukuran kuat arus listrik, amperemeter disusun seri pada rangkaian listrik sehingga kuat arus yang mengalir melalui amperemeter sama dengan kuat arus yang mengalir pada penghantar. Perhatikan gambar 1.15 !



Gambar 1.15 Amperemeter dipasang seri

Cara memasang Amperemeter pada rangkaian listrik adalah sebagai berikut.

a. Terminal positif amperemeter dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan (baterai).

b. Terminal negatif amperemeter dihubungkan dengan kutub negatif sumber tegangan (baterai).

Jika sakelar pada rangkaian dihubungkan, maka lampu pijar menyala dan jarum pada amperemeter menyimpang dari angka nol. Besar

simpangan jarum penunjuk pada amperemeter tersebut menunjukkan besar kuat arus yang mengalir.

Jika sakelar dibuka, maka lampu pijar padam dan jarum penunjuk pada amperemeter kembali menunjuk angka nol. Artinya tidak ada aliran listrik pada rangkaian tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa arus listrik hanya mengalir pada rangkaian tertutup.

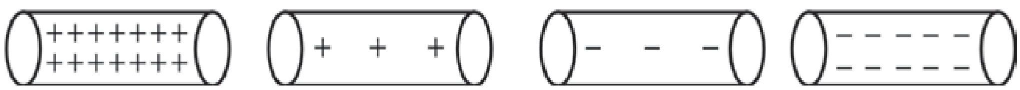
Alat ukur arus listrik adalah *Ampermeter*, ada *Ampermeter* analog dan *Ampermeter* digital. Saat melakukan pengukuran *batas ukur* harus disesuaikan.

1 μA = 0,000001 A = 1.10-6 A; 1 mA = 0,001 A = 1.10-3 A; 1 kA = 1.000 A = 1.103 A; 1 MA = 1.000.000 A = 1.106 A

2.4. Beda Potensial

Potensial listrik adalah banyaknya muatan yang terdapat dalam suatu benda. Suatu benda dikatakan mempunyai potensial listrik lebih tinggi daripada benda lain, jika benda tersebut memiliki muatan positif lebih banyak daripada muatan positif benda lain.

A B C D



a b c d

Gambar 1.16 Muatan listrik pada beberapa benda

Pada Gambar 1.16, terlihat bahwa benda A memiliki muatan positif paling banyak sehingga benda A mempunyai potensial listrik paling tinggi, disusul benda B, C, baru kemudian D. Apa yang dimaksud dengan beda potensial?

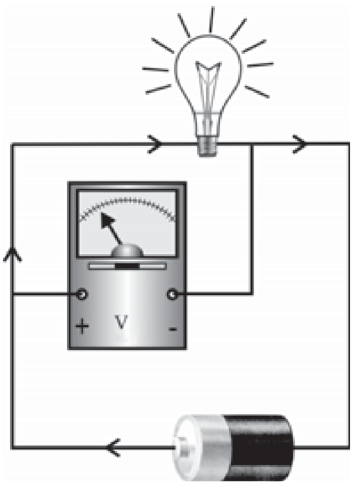
Beda potensial listrik (tegangan) timbul karena dua benda yang memiliki potensial listrik berbeda dihubungkan oleh suatu penghantar. Beda potensial ini berfungsi untuk mengalirkan muatan dari satu titik ke titik lainnya. Satuan beda potensial adalah volt (V). Alat yang digunakan untuk mengukur beda potensial listrik disebut *voltmeter*. Secara matematis beda potensial dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\underline{U} = \frac{W}{q}$$

Keterangan :

$\underline{U}$: beda potensial (V)
W : usha/energi (J)
q : muatan listrik (C)

Lakukan percobaan berikut :



1. *Rangkailah alat-alat tersebut seperti gambar di samping!*
2. *Catatlah beda potensial yang ditunjukkan voltmeter!*
3. *Ulangi kegiatan di atas dengan menggunakan 2 dan 3 baterai!*
4. *Apa kesimpulan Anda?*

Saat mengukur beda potensial listrik, voltmeter harus dipasang secara paralel dengan benda yang diukur beda potensialnya.

Berdasarkan percobaan di atas, dapat diketahui bahwa ketika sumber tegangan ditambah (baterai ditambah), maka jumlah muatan yang dihantarkan makin besar sehingga arusnya meningkat. Hal ini membuat nyala lampu menjadi lebih terang.

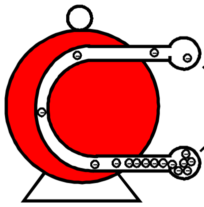
2.5. Tegangan listrik

Elektron-elektron untuk bergeraknya memerlukan suatu mesin penggerak, yang mirip dengan sebuah pompa, dimana pada salah satu sisi rangkaian listrik elektron-elektronnya “didorong kedalam”, bersamaan dengan itu pada sisi yang lain “menarik” elektron-elektron. Mesin ini selanjutnya disebut sebagai *pembangkit tegangan* atau *sumber tegangan.*

Dengan demikian pada salah satu klem dari sumber tegangan *kelebihan elektron* (kutub –), klem yang lainnya *kekurangan elektron* (kutub +). Maka antara kedua klem terdapat suatu *perbedaan penempatan elektron.* Keadaan seperti ini dikenal sebagai tegangan .

Tegangan listrik U adalah merupakan perbedaan penempatan elektron-elektron antara dua buah titik.

Gambar 1.17
Sumber tegangan



Satuan SI yang ditetapkan untuk tegangan adalah Volt
Simbol formula untuk tegangan adalah ***U***
Simbol satuan untuk Volt adalah ***V***
Pembagian dan kelipatan satuan :

1 MV = 1 Megavolt = 1000000 V = 10^6 V

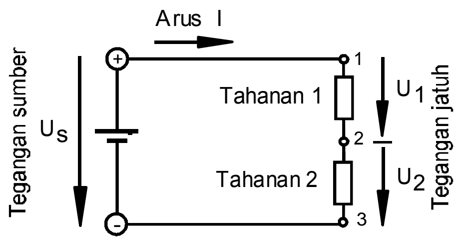
1 kV = 1 Kilovolt = 1000 V = 10^3 V

1 mV = 1 Millivolt = 1/1000 V = 10^{-3} V

1 μV = 1 Mikrovolt = 1/1000000 V = 10^{-6} V

Ketetapan satuan SI untuk 1V didefinisikan dengan bantuan daya listrik.

Pada rangkaian listrik dibedakan beberapa macam tegangan, yaitu tegangan sumber dan tegangan jatuh (lihat gambar 1.16).



Gambar 1.18 Tegangan sumber dan tegangan jatuh pada suatu rangkaian

Tegangan sumber (simbol Us) adalah tegangan yang dibangkitkan didalam sumber tegangan.

Dan dengan demikian maka tegangan sumber merupakan penyebab atas terjadinya aliran arus.

Tegangan sumber didistribusikan ke seluruh rangkaian listrik dan digunakan pada masing-masing beban. Serta disebut juga sebagai : "Tegangan jatuh pada beban."

Dari gambar 1.18, antara dua titik yang manapun pada rangkaian arus, misal antara titik 1 dan 2 atau antara titik 2 dan 3, maka hanya merupakan sebagian tegangan sumber yang efektip. Bagian tegangan ini disebut tegangan jatuh atau tegangan saja.

Tegangan jatuh atau secara umum *tegangan* (simbol U) adalah

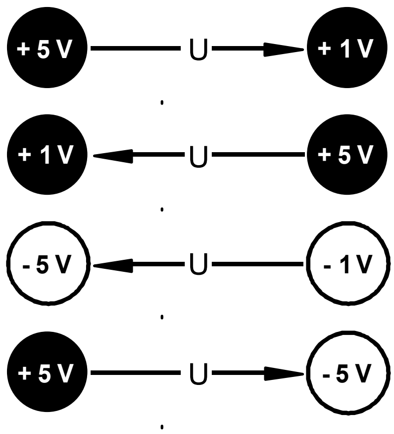
tegangan yang digunakan pada beban.

Arah tegangan

Tegangan selalu mempunyai arah reaksi tertentu, yang dapat digambarkan melalui suatu anak panah tegangan. Normalisasi anak panah tegangan untuk arah tegangan positip ditunjukkan dari potensial tinggi (misalnya kutub plus) menuju ke potensial rendah (misal kutub minus), dalam hal ini memperlihatkan potensial tingginya adalah positif dan potensial rendahnya adalah negatif.

Contoh :

Pada gambar 1.19 diberikan bermacam-macam potensial. Bagaimana arah masing-masing tegangan ?



Gambar 1.19 Anak panah tegangan pada potensial yang diberikan

Untuk menentukan rangkaian arus sangatlah tepat menggunakan normalisasi ketetapan arah tersebut.

Pada pelaksanaan praktiknya hal ini berarti :

Anak panah tegangan untuk sumber tegangan adalah mengarah dari kutub plus menuju ke kutub minus.

Anak panah tegangan untuk tegangan jatuh adalah searah dengan arah arus secara teknik, disini arus selalu mengalir dari potensial tinggi menuju ke potensial rendah .

2.6. Daya Listrik

Energi listrik berguna untuk kita karena dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Pada alat-alat listrik seperti pemanas listrik, kompor listrik, dan pengering rambut, energi listrik diubah menjadi energi panas pada hambatan kawat yang dikenal dengan nama “elemen pemanas”. Kemudian, pada banyak lampu (Gambar 7.4), filamen kawat yang kecil menjadi sedemikian panas sehingga bersinar. Hanya beberapa persen energi listrik yang diubah menjadi cahaya tampak, dan sisanya lebih dari 90% menjadi energi panas.



Sumber: Jendela Iptek. PT. Balai Pustaka, 2000

Gambar 1.20 Filamen kawat mengubah energi listrik menjadi cahaya

Energi listrik dapat diubah menjadi energi panas atau cahaya pada alat-alat listrik tersebut, karena arus biasanya agak besar, dan terjadi banyak tumbukan antara elektron dan atom pada kawat. Pada setiap tumbukan, terjadi transfer energi dari elektron ke atom yang ditumbuknya, sehingga energi kinetik atom bertambah dan menyebabkan suhu elemen kawat semakin tinggi.

Bila anda perhatikan sebuah setrika listrik yang dihubungkan dengan sumber tegangan listrik, maka tidak berapa lama akan menjadi panas. Hal ini terjadi karena adanya usaha untuk memindahkan muatan listrik setiap saat pada rangkaian listrik yang besarnya sama dengan energi listrik yang

diubah menjadi energi kalor. Besarnya energi setiap satuan waktu disebut *daya listrik.*

Daya yang diubah oleh peralatan listrik merupakan energi yang diubah bila muatan *Q* bergerak melintasi beda potensial sebesar *V*. Daya listrik merupakan kecepatan perubahan energi tiap satuan waktu, dirumuskan:

$$P = \text{daya} = \frac{\text{energi yang diubah}}{\text{waktu}} = \frac{Q \cdot V}{t}$$

Muatan yang mengalir tiap satuan waktu *Q*/*t* merupakan arus listrik, *I*, sehingga didapatkan:

$$P = V \times I$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan dapat diubah oleh suatu perangkat untuk nilai arus *I* yang melewatinya dan beda potensial *V* di antara ujung-ujung penghantar. Satuan daya listrik dalam SI adalah **watt** (1 W = 1 J/s).

Daya atau laju perubahan energi pada hambatan *R* dapat dituliskan berdasarkan Hukum Ohm sebagai berikut:

Menurut Hukum Ohm persamaan daya dapat ditulis :

$$P = I^2 \times R \text{ atau } P = \frac{V^2}{R}$$

Keterangan:

P : daya listrik (W)
W : energi listrik (J)
V : tegangan listrik (V)
I : kuat arus listrik (A)
R : hambatan listrik (Ω)

2.7. Rangkaian Listrik

Peralatan listrik secara umum disebut sebagai beban/pemakai, terhubung dengan sumber tegangan melalui suatu penghantar, yang terdiri atas dua buah penghantar, yaitu penghantar masuk dan penghantar keluar (gambar 1.9). Penanggung jawab adanya arus yaitu elektron-elektron bebas, bergerak dari pembangkit tegangan kembali ke tempatnya semula melalui jalan yang tertutup, yang biasa disebut sebagai rangkaian arus.

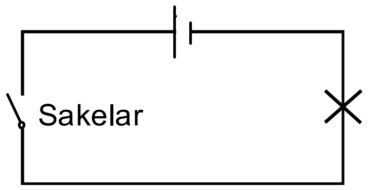
Rangkaian arus listrik sederhana terdiri atas pembangkit tegangan, beban termasuk disini kabel penghubung (penghantar masuk dan penghantar keluar).

Untuk diketahui bahwa :

Arus listrik hanya dapat mengalir dalam suatu rangkaian penghantar tertutup.

Dengan memasang sebuah saklar pada rangkaian, arus listrik dapat dihubung atau diputus sesuai keinginan.

Gambar secara nyata suatu rangkaian arus sebagaimana ditunjukkan diatas terlihat sangat rumit, dalam praktiknya digunakanlah skema dengan normalisasi simbol yang sederhana, yang biasa dikenal sebagai diagram rangkaian. Skema menjelaskan hubungan antara komponen-komponen yang ada pada suatu rangkaian.



Gambar 1.21
Skema rangkaian arus sederhana

a. Reaksi arus listrik

Arus hanya dapat diketahui dan ditetapkan melalui reaksi atau efek yang ditimbulkannya.

Reaksi panas

Arus listrik selalu memanasi penghantarnya.

Didalam kawat logam misalnya, elektron-elektron saling bertumbukan dengan ion-ion atom, bersamaan dengan itu elektron tersebut memberikan sebagian energi geraknya kepada ion-ion atom dan memperkuat asutan panas ion-ion atom, yang berhubungan dengan kenaikan temperatur.

Penggunaan reaksi panas arus listrik ini misalnya pada open pemanas, solder, kompor, seterika dan sekering lebur.

Reaksi cahaya

Pada lampu pijar reaksi panas arus listrik mengakibatkan kawat membara dan dengan demikian menjadi bersinar, artinya sebagai efek samping dari cahaya.

Gas seperti neon, argon atau uap mercury dipicu/diprakarsai

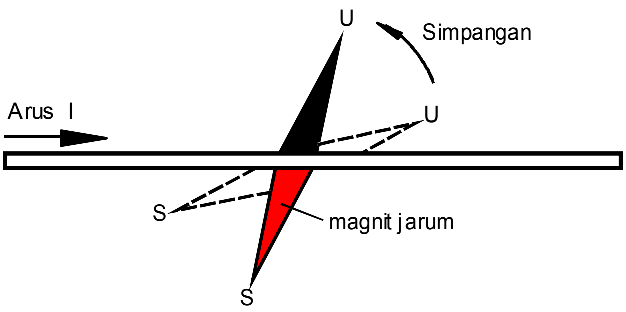
oleh arus listrik sehingga menjadi bersinar.

Reaksi cahaya secara langsung ini ditemukan pada penggunaan tabung cahaya, lampu mercury, lampu neon dan lampu indikator (negative glow lamp).

Reaksi kemagnitan

Percobaan :

Suatu magnit jarum diletakkan dekat dengan penghantar yang berarus.



Gambar 1.22
Reaksi kemagnitan arus listrik

Perhatikan : Jarum magnit diatas !

Arus listrik selalu membangkitkan medan magnit.

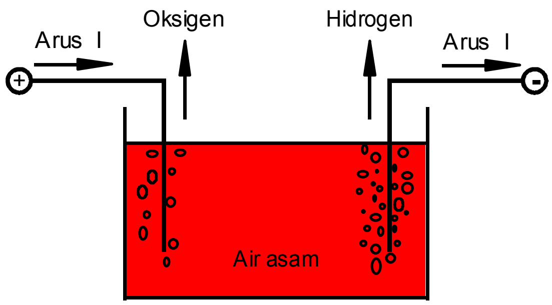
Medan magnit melaksanakan suatu tenaga tarik terhadap besi. Medan magnit saling berpengaruh satu sama lain dan saling tolak-menolak atau tarik-menarik.

Penggunaan reaksi kemagnitan seperti ini misalnya pada motor listrik, speaker, alat ukur, pengangkat/kerekan magnit, bel, relay dan kontaktor.

Reaksi kimia arus listrik

Percobaan :

Dua buah kawat dihubungkan ke sumber tegangan arus searah (misalnya akkumulator) dan ujung-ujung yang bersih dimasukkan kedalam bejana berisi air, yang sedikit mengandung asam (misalnya ditambah asam belerang)



Gambar 1.23
Reaksi kimia arus listrik

Pada kedua kawat terbentuk gas-gas yang naik keatas. Hal tersebut berhubungan dengan hidrogen dan oksigen. Hidrogen dan oksigen merupakan unsur-unsur kimia dari air. Jadi air terurai dengan perantaraan arus listrik.

Arus listrik menguraikan zat cair yang bersifat penghantar.

Penggunaan reaksi kimia arus listrik yaitu dapat ditemukan pada elektrolisa, pada galvanisasi, pada pengisian akkumulator.

Reaksi pada makhluk hidup

Dengan persyaratan tertentu, misalkan seseorang menyentuh dua buah penghantar listrik tanpa isolasi, maka arus dapat mengalir melalui

tubuh manusia. Arus listrik tersebut membangkitkan atau bahkan menimbulkan “sentakan/sengatan listrik”

Pada penyembuhan secara listrik, arus digunakan untuk memberikan kejutan listrik (electro shock).

3. Bahan Penghantar Listrik

Coba kamu perhatikan peralatan listrik yang ada di rumah ! perhatikan TV, Kulkas, setrika, lampu, kumputer dan lain-lain. Lampu dapat menyala, setrika menjadi panas. Melalui apa listrik mengalir sampai ke perabotan di rumahmu ? semua peralatan iitu dihubungkan oleh kabel ke bagian sumber arus atau tegangan. Mengapa kabel dapat menghantarkan arus listrik ? apakah semua bagian kabel dapat menghantarkan listrik ?

Diskusikan dengan kelompokmu apa yang telah kamu amati. Komunikasikan dengan orang lain ! kemudian ambil kesimpulan hasil pembahasannya.

Pelajari dengan seksama uraian berikut !

Listrik dapat mengalir melalui sebuah konduktor. Sedangkan bahan yang tidak dapat menghantarkan atau bahkan menghambat arus listrik disebut isolator.

3.1 Penghantar Listrik (Konduktor)

Penghantar - Mekanisme penghantar

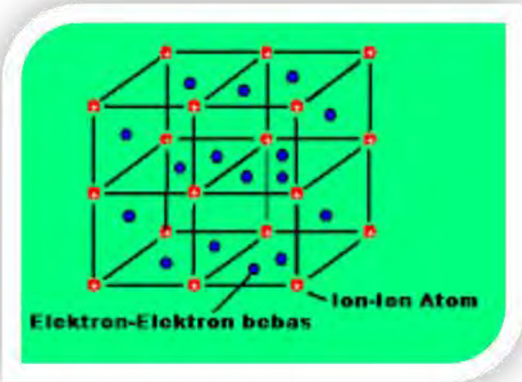
Bahan yang memiliki banyak pembawa muatan yang bebas bergerak dinamakan penghantar.

Kita bedakan antara :

Penghantar elektron

Yang termasuk didalamnya yaitu *logam* seperti misalnya tembaga, alumunium, perak, emas, besi dan juga arang.

Atom logam membentuk sesuatu yang disebut *struktur logam*. Dimana setiap atom logam memberikan semua elektron valensinya (elektron-elektron pada lintasan terluar) dan juga ion-ion atom positif.



Gambar 1.24
Kisi-kisi ruang suatu logam dengan awan elektron

Ion-ion menempati ruang dengan jarak tertentu serta sama antara satu dengan yang lain dan membentuk sesuatu yang disebut dengan *kisi-kisi ruang* atau pola geometris atom-atom (gambar 2.14).

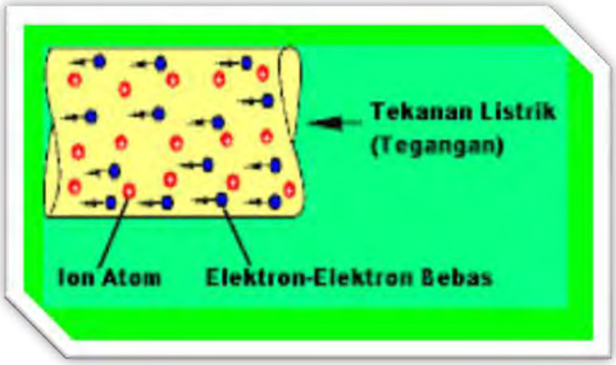
Elektron-elektron bergerak seperti suatu awan atau gas diantara ion-ion yang diam dan oleh karenanya bergerak relatip ringan didalam kisi-kisi ruang.

Elektron tersebut dikenal sebagai *elektron bebas*. Awan elektron bermuatan negatif praktis termasuk juga didalamnya ion-ion atom yang bermuatan positif.

Sepotong tembaga dengan panjang sisinya 1 cm memiliki kira-kira 10^{23} (yaitu satu dengan 23 nol) elektron bebas. Melalui tekanan listrik dengan arah tertentu, yang dalam teknik listrik dikenal sebagai tegangan, elektron-elektron bebas dalam penghantar digiring melalui kisi-kisi (gb. 1.24). Dengan demikian elektron-elektron penghantar mentransfer muatan negatifnya dengan arah tertentu. Biasa disebut sebagai *arus listrik*.

Dapat disimpulkan bahwa :

Arus listrik (arus elektron) dalam suatu penghantar logam adalah merupakan gerakan elektron bebas pada bahan penghantar dengan arah tertentu. Gerakan muatan tidak mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik bahan.



Gambar 1.25 Mekanisme penghantar logam

Kecepatan arus tergantung pada *rapat arus*. Penghantar logam dengan beban biasa maka kecepatan elektronnya hanya sebesar $\pm$ 3 mm/detik, tetapi gerakan elektron tersebut menyebarkan impuls tumbukan mendekati dengan kecepatan cahaya c=300.000 km/detik. Oleh karenanya dibedakan disini antara kecepatan impuls dan kecepatan elektron.

Contoh :

a) Berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh elektron pada suatu penghantar kawat untuk kembali ke tempatnya semula ? Panjang kawat ℓ=1200 m dengan kecepatan sedang υ=3 mm/s

b) Berapa lama waktu yang dibutuhkan impuls untuk jarak yang sama ?

Jawaban : a) Kecepatan: $v = \frac{\ell}{t}$; Waktu: $t = \frac{\ell}{v}$

$$t = \frac{1200\,m}{0{,}003\,m/s} = 400.000\,s = \frac{400.000}{3600}\,h = 111\,jam$$

b) $t = \frac{\ell}{v}$

$$t = \frac{1200\,m}{300.000.000\,m/s} = \frac{4}{1000.000}\,s = 0{,}000004\,s$$

Penghantar ion

Termasuk disini yaitu *elektrolit* (zat cair yang menghantarkan arus), *peleburan* (misal peleburan alumunium) dan *ionisasi gas*. Sebagai pembawa muatan dalam hal ini adalah ion positip dan ion negatip. Biasa disebut sebagai *arus ion*.

Arus listrik (arus ion) didalam suatu elektrolit, peleburan atau ionisasi gas adalah merupakan gerakan terarah ion-ion bahan/zat cair. Dalam hal ini termasuk juga sebagai transfer bahan/zat.

3.2 Bukan penghantar (Isolator)

Bahan yang hanya memiliki sedikit pembawa muatan dan terikat dalam molekul tersendiri, dinamakan bahan bukan penghantar.

Termasuk dalam hal ini yaitu *bahan padat*, seperti bahan sintetis, karet, kaca, porselen, lak, kertas, sutera, asbes, dan *zat cair*, seperti air murni, oli, fet, dan juga *ruang hampa* termasuk disini *gas (juga udara)* dengan aturan tertentu. Bahan-bahan tersebut sebagian juga dikenal sebagai *bahan isolasi*, dengan demikian maka dapat mengisolasi bahan yang berarus listrik.

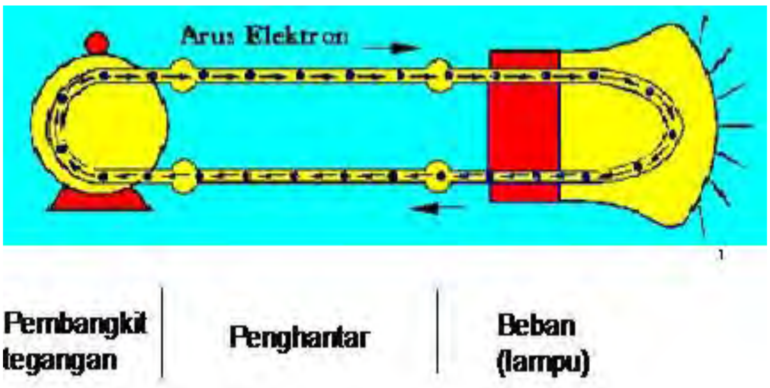
3.3 Semi penghantar (Semi Konduktor)

Semi penghantar adalah bahan yang setelah mendapat pengaruh dari luar maka elektron valensinya lepas dan dengan demikian mampu menghantarkan listrik.

Termasuk disini yaitu silisium, selenium, germanium dan karbon oksida.

Pada temperatur rendah, elektron valensi bahan tersebut terikat sedemikian rupa sehingga tidak ada elektron bebas didalam kisi-kisi. Jadi dalam hal ini dia bukan sebagai bahan penghantar.

Melalui pemanasan, sebagian elektron terlepas dari lintasannya, dan menjadi elektron yang bergerak dengan bebas. Dengan demikian maka menjadi suatu penghantar. Juga melalui pengaruh yang lainnya, seperti misalnya cahaya dan medan magnit mengakibatkan perubahan sifat kelistrikan bahan semi penghantar.

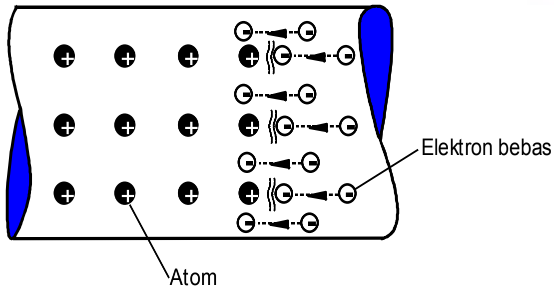


Gambar 1.26
Model suatu rangkaian arus

3.4 Tahanan listrik (Resistor)

Gerakan pembawa muatan dengan arah tertentu di bagian dalam suatu penghantar terhambat oleh terjadinya tumbukan dengan atom-atom (ion-ion atom) dari bahan penghantar tersebut. "Perlawanan" penghantar terhadap pelepasan arus inilah disebut sebagai *tahanan* (gambar 1.25).

Gambar 1.27 Gerakan elektron didalam penghantar logam



Satuan SI yang ditetapkan untuk tahanan listrik adalah Ohm.

Simbol formula untuk tahanan listrik adalah R

Simbol satuan untuk Ohm yaitu Ω (baca: Ohm). Ω adalah huruf Yunani Omega.

Satuan SI yang ditetapkan 1 Ω didefinisikan dengan aturan sbb. :

1 Ohm adalah sama dengan tahanan yang dengan perantaraan tegangan 1 V mengalir kuat arus sebesar 1 A.

Pembagian dan kelipatan satuan :

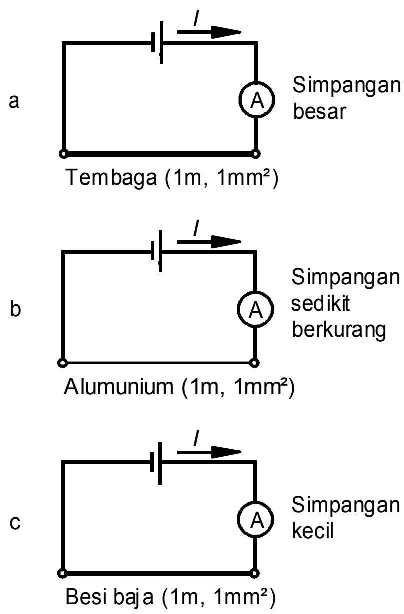
1 MΩ = 1 Megaohm	=	1000000 Ω	$= 10^{6}\ \Omega$
1 kΩ = 1 Kiloohm	=	1000 Ω	$= 10^{3}\ \Omega$
1 mΩ = 1 Milliohm	=	1/1000 Ω	$= 10^{-3}\ \Omega$

a. Tahanan jenis (spesifikasi tahanan)

Percobaan :

Penghantar bermacam-macam bahan (tembaga, alumunium, besi baja) dengan panjang dan luas penampang sama berturut-turut dihubung ke sumber tegangan melalui sebuah ampermeter dan masing-masing kuat arus (simpangan jarum) diperbandingkan.

Percobaan memperlihatkan bahwa besarnya arus listrik masing-masing bahan berlawanan dengan tahanannya. Tahanan ini tergantung pada susunan bagian dalam bahan yang bersangkutan (kerapatan atom dan jumlah elektron bebas) dan disebut sebagai *tahanan jenis (spesifikasi tahanan).*



Gambar 1.28
Perbandingan tahanan suatu penghantar:
a) Tembaga
b) Alumunium
c) Besi baja

Simbol formula untuk tahanan jenis adalah ρ (baca: rho). ρ adalah huruf abjad Yunani.

Untuk dapat membandingkan bermacam-macam bahan, perlu bertitik tolak pada kawat dengan panjang 1 m dan luas penampang 1 mm^2, dalam hal ini tahanan diukur pada suhu 20 ^{O}C.

Tahanan jenis suatu bahan penghantar menunjukkan bahwa angka yang tertera adalah sesuai dengan nilai tahanannya untuk panjang 1 m, luas penampang 1 mm^2 dan pada temperatur 20 ^{O}C

Satuan tahanan jenis adalah $\frac{\Omega.mm^2}{m}$

Sebagai contoh, besarnya tahanan jenis untuk :

tembaga ρ = 0,0178 $\Omega.mm^2/m$

alumunium ρ = 0,0278 $\Omega.mm^2/m$

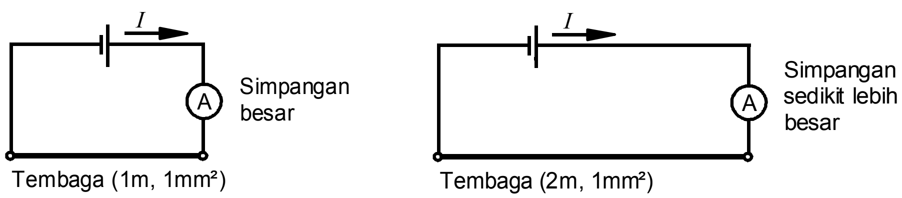
perak ρ = 0,016 $\Omega.mm^2/m$

b. Tahanan listrik suatu penghantar

Percobaan :

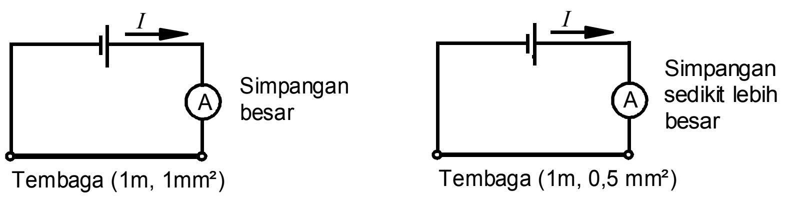
Bermacam-macam penghantar berturut-turut dihubungkan ke sumber tegangan melalui sebuah ampermeter dan masing-masing kuat arus (simpangan jarum) diperbandingkan.

a) Panjang penghantar berbeda



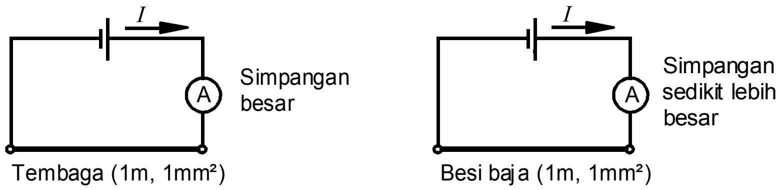
Gambar 1.29 Rangkaian arus dengan panjang penghantar berbeda

b) Luas penampang berbeda



Gambar 1.29 Rangkaian arus dengan luas penampang penghantar berbeda

c) Bahan penghantar berbeda



Gambar 1.30 Rangkaian arus dengan bahan penghantar berbeda

Dari percobaan diatas terlihat bahwa :

Tahanan listrik suatu penghantar R semakin besar,

a) jika penghantar *l* semakin panjang

b) jika luas penampang A semakin kecil

c) jika tahanan jenis ρ semakin besar.

Ketergantungan tahanan terhadap panjang penghantar dapat dijelaskan disini, bahwa gerakan elektron didalam penghantar yang lebih panjang mendapat rintangan lebih kuat dibanding pada penghantar yang lebih pendek.

Dalam hal jumlah elektron-elektron yang bergerak dengan jumlah sama, maka pada penghantar dengan luas penampang lebih kecil terjadi tumbukan yang lebih banyak, berarti tahanannya bertambah.

Bahan dengan tahanan jenis lebih besar, maka jarak atomnya lebih kecil dan jumlah elektron-elektron bebasnya lebih sedikit, sehingga menghasilkan tahanan listrik yang lebih besar.

Ketergantungan tahanan listrik tersebut dapat diringkas dalam bentuk rumus sebagai berikut :

$$\text{Tahanan R} = \frac{\text{Tahanan jenis } \rho \bullet \text{Panjang penghantar } l}{\text{Luas penampang A}}$$

Ditulis dengan simbol formula :

Tahanan penghantar

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

R tahanan penghantar dalam Ω
ρ tahanan jenis dalam $\Omega.mm^2/m$
l panjang penghantar dalam m
A luas penampang dalam mm^2

Persamaan diatas dapat ditransfer kedalam bermacam-macam besaran.

Dengan demikian secara perhitungan dimungkinkan juga untuk menentukan panjang penghantar, tahanan jenis dan luas penampang.

Panjang penghantar

$$l = \frac{R \cdot A}{\rho}$$

Tahanan jenis

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l}$$

Luas penampang

$$A = \frac{\rho \cdot l}{R}$$

Melalui penempatan satuan kedalam persamaan tahanan jenis, maka diperoleh satuan tahanan jenis.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l}; \qquad \rho \text{ dalam } \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

Contoh soal :

1. Suatu penghantar dengan luas penampang 10 mm^2. Berapa besarnya tahanan untuk panjang 500 m, jika digunakan penghantar :

a) tembaga

b) alumunium ?

Diketahui : A = 10 mm^2

l = 500 m

ρ_{Cu} = 0,0178 $\Omega.mm^2/m$

ρ_{Al} = 0,0278 $\Omega.mm^2/m$

Hitunglah : R_{cu} , R_{Al}

Jawab : a) $R_{Cu} = \frac{\rho_{Cu} \cdot l}{A}$;

$$R_{Cu} = \frac{0{,}0178 \frac{\Omega . mm^2}{m} . 500\, m}{10\, mm^2} = 0{,}89\, \Omega$$

b) $R_{Al} = \frac{\rho_{Al} \cdot l}{A}$;

$$R_{Al} = \frac{0{,}0278 \frac{\Omega . mm^2}{m} . 500\, m}{10\, mm^2} = 1{,}39\, \Omega$$

2. Kawat baja 250 m dan luas penampang 1 mm^2 mempunyai tahanan 35 Ω. Berapa besarnya tahanan jenis kawat tersebut ?

Diketahui : l = 250 m

A = 1 mm2

R = 35 Ω.

Hitunglah : ρ

Jawab : $\rho = \frac{R . A}{l}$;

$$\rho = \frac{35\,\Omega\,.\,1\text{mm}^2}{250\,\text{m}} = 0{,}14\,\frac{\Omega\,.\,\text{mm}^2}{\text{m}}$$

3. Sebuah jamper alat ukur panjang 12 m terbuat dari kawat tembaga berisolasi dan harus mempunyai tahanan 0,0356 Ω.

   Berapa besarnya luas penampang penghantar tersebut ?

   Diketahui : l = 12 m

   R = 0,0356 Ω

   ρ_{Cu} = 0,0178 $\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$

   Hitunglah : A

   Jawab : $A = \frac{\rho\,.\,l}{R}$;

$$A = \frac{0{,}0178\,\frac{\Omega\,.\,\text{mm}^2}{\text{m}}\,.\,12\,\text{m}}{0{,}0356\,\Omega} = 6\,\text{mm}^2$$

c. Daya hantar dan hantar jenis

Suatu beban dengan tahanan yang kecil menghantarkan arus listrik dengan baik. Dikatakan : “dia memiliki *daya hantar yang besar*”.

Daya hantar yang besar sepadan dengan tahanan yang kecil dan sebaliknya daya hantar kecil sepadan dengan tahanan besar.

Daya hantar adalah kebalikan tahanan

$$\text{Daya hantar} = \frac{1}{\text{Tahanan}}$$

Satuan SI yang ditetapkan untuk daya hantar adalah Siemens.

Simbol formula untuk daya hantar adalah G.

Simbol satuan untuk Siemens adalah S.

Daya hantar $G = \frac{1}{R}$ G daya hantar listrik dalam S

Tahanan $R = \frac{1}{G}$ R tahanan listrik dalam Ω

Nilai yang lebih kecil :

1 mS = 1 Millisiemens = 10^{-3} S

1 μS = 1 Mikrosiemens = 10^{-6} S

Suatu bahan penghantar dengan tahanan jenis kecil menghantarkan arus listrik dengan baik, dia sanggup menghantarkan dengan sangat baik. Hal ini disebut sebagai besaran *hantar jenis* atau besaran *spesifikasi daya hantar* dari bahan.

Analog dengan daya hantar dapat ditetapkan disini :

Hantar jenis adalah kebalikan tahanan jenis.

Satuan untuk hantar jenis adalah $\frac{m}{\Omega . mm^2}$.

Simbol formula untuk hantar jenis adalah γ (baca gamma). γ adalah huruf abjad Yunani.

$$\text{Hantar jenis} = \frac{1}{\text{Tahanan jenis}}$$

Hantar jenis $\gamma = \frac{1}{\rho}$ γ hantar jenis dalam $\frac{m}{\Omega . mm^2}$

Tahanan jenis $\rho = \frac{1}{\gamma}$ ρ tahanan jenis dalam $\frac{\Omega . mm^2}{m}$

Untuk beberapa pemikiran sangatlah tepat, menghitung dengan menggunakan daya hantar ataupun hantar jenis.

Dengan bantuan hantar jenis (spesifikasi daya hantar) diperoleh rumus perhitungan untuk tahanan kawat sebagai berikut :

Tahanan penghantar $R = \frac{l}{\gamma . A}$

R tahanan penghantar dalam Ω
γ hantar jenis dalam m/Ω.mm^2
l panjang penghantar dalam m
A luas penampang dalam mm^2

Contoh :

1. Berapa besarnya daya hantar untuk tahanan berikut ini :

5 Ω; 0,2 Ω; 100 Ω ?

Jawaban: $G = \frac{1}{R}$; $G = \frac{1}{5\,\Omega} = 0{,}2\,S$

$G = \frac{1}{0{,}2\,\Omega} = 5\,S$; $G = \frac{1}{100\,\Omega} = 0{,}01\,S = 10\,mS$

2. Berapa besarnya hantar jenis perak, tembaga dan alumunium jika sebagai tahanan jenis berturut-turut terdapat nilai sbb. :

ρ tembaga = 0,0178 Ω.mm^2/m.

ρ alumunium = 0,0278Ω.mm^2/m.

ρ perak = 0,016 Ω.mm^2/m.

Jawaban : $\gamma = \frac{1}{\rho}$;

$$\gamma_{\text{ tembaga}} = \frac{1}{0{,}0178 \frac{\Omega . mm^2}{m}} = \frac{1m}{0{,}0178\,\Omega . mm^2} = 56{,}2 \frac{m}{\Omega . mm^2}$$

$$\gamma_{\text{ alumunium}} = \frac{1}{0{,}0278 \frac{\Omega . mm^2}{m}} = 36 \frac{m}{\Omega . mm^2}$$

$$\gamma_{\text{ perak}} = \frac{1}{0{,}016 \frac{\Omega . mm^2}{m}} = 62{,}5 \frac{m}{\Omega . mm^2}$$

d. Tahanan tergantung pada suhu

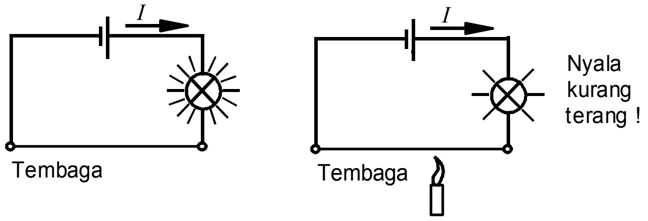
Percobaan :

Sebuah lampu pijar dihubungkan ke sumber tegangan berturut-turut melalui bermacam-macam bahan penghantar (tembaga, arang, konstantan). Setiap penghantar dipanasi dan cahaya lampu diperbandingkan sebelum dan setelah pemanasan.

Secara umum diketahui :

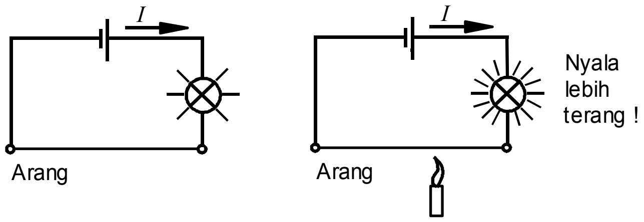
Tahanan semua bahan sedikit banyak tergantung pada suhu.

a) Penghantar tembaga



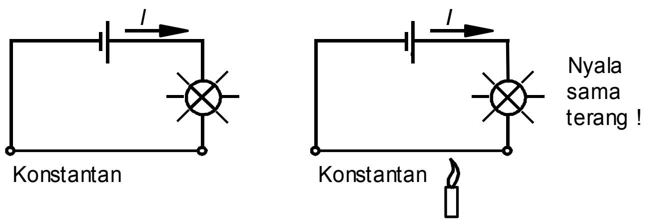
Gambar 1.31 Ketergantungan suatu penghantar tembaga terhadap suhu.

b) Penghantar arang (isi pensil)



Gambar 1.32 Ketergantungan suatu penghantar arang terhadap suhu.

c) Konstantan



Gambar 1.33 Ketergantungan suatu penghantar konstantan terhadap suhu.

Percobaan memperlihatkan secara rinci :

1. Kawat logam yang terbuat dari t*embaga* dan *alumunium* pada pemanasan tahanannya bertambah.
2. Yang terbuat dari arang, pada pemanasan nilai tahanannya

berkurang.

3. Tahanan kawat konstantan hampir tetap konstan.

Bahan yang dalam kondisi dingin menghantarkan arus dengan lebih baik dari pada dalam kondisi panas, disebut *penghantar dingin.* Termasuk kelompok ini yaitu praktis semua logam murni dan beberapa bahan semi penghantar.

Bahan yang dalam kondisi panas menghantarkan arus dengan lebih baik dari pada dalam kondisi dingin, disebut *penghantar panas.* Termasuk disini yaitu arang, sebagian besar bahan semi penghantar dan oksida logam tertentu.

Sebagian logam pada pendinginan mendekati titik nol absolut (-273,2 ^{O}C) tahanannya menghilang dengan sangat tiba-tiba yaitu praktis pada nilai nol. Maka bahan seperti ini menghantarkan arus dengan "sangat baik". Oleh karena itu disebut *penghantar super* (super conductor). Termasuk dalam kelompok ini yaitu alumunium, tin (timah), timbel (timah hitam), air raksa, niob (columbium).

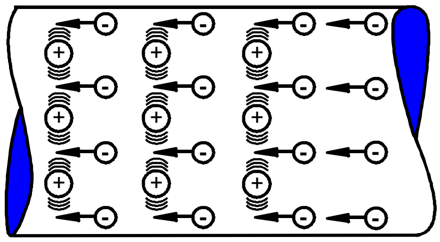
Perlu diperhatikan, bahwa untuk perbedaan temperatur menggunakan satuan Kelvin (K) dan tidak lagi derajat Celsius (^{O}C). Ini tidak menimbulkan kesulitan, karena perbedaan temperatur 1^{O}C sama dengan perbedaan temperatur 1 K. Sejalan dengan hal tersebut satuan ^{O}C untuk menyatakan temperatur dapat terus digunakan.

Contoh :

1. Temperatur penghantar tembaga berubah sekitar 20 K (bukan 20 ^{O}C).
2. Temperatur lilitan motor sebesar 20 ^{O}C. Untuk ini dapat juga dikatakan : 293 K, disini 0 ^{O}C senilai dengan 273 K atau 0 K sesuai dengan -273 ^{O}C.

Reaksi penghantar dingin dapat diterangkan, bahwa pada asutan panas yang lebih kuat atas atom-atom didalam kisi-kisi kristal, lebih besar

pula tumbukan elektron-elektron yang bergerak dengan atom-atom (ion-ion atom) sehingga memberikan tahanan yang lebih besar. (gambar 1.33)



Gambar 1.34
Tahanan pada penghantar logam yang dipanaskan

Reaksi penghantar panas berdasarkan, bahwasanya pada pemanasan elektron-elektron ekstra (tambahan) menjadi bebas dan tergabung pada gerakan yang terarah. Hal ini berarti pengurangan tahanan.

Pada konstantan melalui pemanasan seperti pada penghantar dingin terjadi suatu pengereman pembawa muatan, tetapi seperti juga pada penghantar panas, elektron-elektron ekstra menjadi bebas. Kedua reaksi tersebut cukup saling menetralisir.

Perubahan tahanan melalui pemanasan untuk masing-masing bahan berbeda. Karakteristik bermacam-macam bahan ditetapkan melalui *koefisien temperatur.*

Simbol : α (alpha)

Satuan : $\frac{1}{K}$

Koefisien temperatur α menunjukkan perubahan tahanan untuk tahanan sebesar 1Ω pada pemanasan 1 K.

Pada perhitungan sering digunakan koefisien temperatur dalam $\frac{\%}{K}$.

Bahan yang pada pemanasan nilai tahanannya berkurang, mempunyai koefisien temperatur negatip.

Beberapa contoh koefisien temperatur (berlaku untuk perubahan temperatur mulai dari suhu 20 ^{O}C) sbb :

Tembaga $\alpha = 0{,}0039 \frac{1}{K} = 0{,}39 \frac{\%}{K}$

Alumunium $\alpha = 0{,}0037 \frac{1}{K} = 0{,}37 \frac{\%}{K}$

Wolfram $\alpha = 0{,}0041 \frac{1}{K} = 0{,}41 \frac{\%}{K}$

Nikelin $\alpha = 0{,}00023 \frac{1}{K} = 0{,}023 \frac{\%}{K}$

Mangan $\alpha = \pm 0{,}00001 \frac{1}{K} = \pm 0{,}001 \frac{\%}{K}$

Konstantan $\alpha = -0{,}00003 \frac{1}{K} = -0{,}003 \frac{\%}{K}$

Karbon murni $\alpha = -0{,}00045 \frac{1}{K} = -0{,}045 \frac{\%}{K}$

Pada logam murni (tembaga, alumunium, wolfram) besarnya koefisien temperatur kira-kira 0,4 $\frac{\%}{K}$, artinya setiap K kenaikan temperatur tahanannya bertambah 0,4 %

Menunjuk pada lampu pijar, yang didalamnya menggunakan kawat wolfram, dalam operasionalnya merupakan suatu tahanan panas, yang bisa mencapai 15 kali lebih besar dari pada tahanan dingin (pada kondisi dingin).

Pada logam campuran tertentu (nikelin, manganin, konstantan) koefisien temperaturnya sangat kecil. Bahan ini sangat cocok untuk tahanan alat ukur.

Perubahan tahanan ΔR (baca: delta R) suatu penghantar untuk :

tahanan 1Ω dan perubahan temperatur 1K besarnya $\Delta R = \alpha$ Ohm

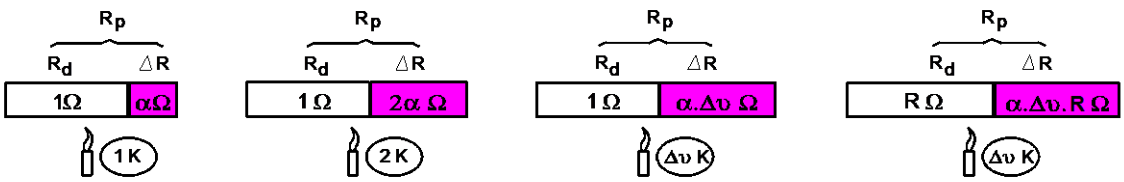
tahanan 1Ω dan perubahan temperatur 2K besarnya $\Delta R = 2 . \alpha$ Ohm

tahanan 1Ω dan perubahan temperatur $\Delta\vartheta$K besarnya $\Delta R = \alpha\ \Delta\vartheta$ Ohm

tahanan $R\Omega$ dan perubahan temperatur $\Delta\vartheta$K besarnya $\Delta R = \alpha . \Delta\vartheta . R$ Ohm

Δ (baca: delta) adalah suatu huruf Yunani dan digunakan disini sebagai simbol formula untuk perbedaan.

ϑ (baca: theta) adalah juga suatu huruf Yunani dan digunakan disini sebagai simbol formula untuk temperatur.



Gambar 1.35 Perubahan tahanan

Dengan demikian berlaku :

Perubahan tahanan

$$\Delta R = \alpha . \Delta\vartheta . R_d$$

ΔR perubahan tahanan dalam Ω

R_d tahanan dingin pd. 20 ^oC dlm. Ω
α koefisien temperatur dalam 1/K
$\Delta\vartheta$ kenaikan temperatur dalam K

Tahanan panas yang baru R_p terdiri atas tahanan dingin R_d dan perubahan tahanan ΔR.

Tahanan panas $$R_p = R_d + \Delta R$$ R_p tahanan panas dalam Ω

$$R_p = R_d + \alpha \, . \, \Delta\vartheta \, . \, R_d$$

Melalui penjabaran formula diperoleh :

Kenaikan temperatur $$\Delta\vartheta = \frac{R_p - R_d}{\alpha \, . \, R_d}$$

Persamaan tersebut diatas berlaku untuk kenaikan temperatur hingga kira-kira 200 ^oC. Pada kenaikan temperatur yang melebihi 200 ^oC, harus diperhatikan faktor-faktor lainnya.

Pemakaian perubahan tahanan ditemukan pada penyelidikan pemanasan lilitan termasuk juga untuk tujuan pengukuran dan pengaturan.

Contoh:

1. Lilitan tembaga suatu mesin pada suhu 20 ^oC terukur tahan-annya serbesar 30 Ω. Selama beroperasi temperatur tahan-annya naik menjadi 80 ^oC.
   Berapa sekarang besarnya tahanan kumparan ?

   Diketahui: $R_d = 30\ \Omega$; $\vartheta_1 = 20\ ^oC$; $\vartheta_2 = 80\ ^oC$; $\alpha = 0{,}0039\ ^1/_K$
   Hitunglah: R_p

   Jawaban: $R_p = R_d + \alpha \, . \, \Delta\vartheta \, . \, R_d$

$R_p = 30\ \Omega + 0{,}0039\ ^1/_K\ .\ 60\ K\ .\ 30\ \Omega = 30\ \Omega + 7{,}02\ \Omega = 37{,}02\ \Omega$

2. Lilitan alumunium suatu trafo satu phasa pada suhu 20 ^oC mempunyai tahanan sebesar 5 Ω

   Temperaturnya meningkat berapa Kelvin, jika setelah beberapa jam beroperasi diukur tahanannya sebesar 6,3 Ω ?

   Diketahui: $R_d = 5\ \Omega$; $\vartheta_1 = 20\ ^oC$;

   $R_p = 6{,}3\ \Omega$; $\alpha = 0{,}0037\ ^1/_K$

   Hitunglah: $\Delta\vartheta$

   Jawaban: $$\Delta\vartheta = \frac{R_p - R_d}{\alpha . R_d}$$

   $$\Delta\vartheta = \frac{6{,}3\,\Omega - 5\,\Omega}{0{,}0037\frac{1}{K}.5\,\Omega} = \frac{1{,}3\,\Omega}{0{,}0037\frac{1}{K}.5\,\Omega} = 70{,}3\,K$$

Tabel : ***Tahanan jenis*** ρ *($\rho = 1/\gamma$)*
Hantar jenis γ *($\gamma = 1/\rho$)*
Koefisien temperatur α *(temperatur 20 ^OC)*

Bahan	Simbol	ρ Ω.mm²/m	γ m/Ω.mm²	α 1/K
Perak	Ag	0,016	62,5	0,0038
Tembaga	Cu	0,0178	56	0,0039
Alumunium	Al	0,0278	36	0,0037
Wolfram	W	0,055	18	0,0041
Seng	Zn	0,063	16	0,0037
Kuningan	-	0,08	12,5	0,0015
Nikel	Ni	0,1	10	0,005
Platina	Pt	0,1	10	0,0025
Tin (timah)	Sn	0,11	9,1	0,0042
Besi	Fe	0,13	7,7	0,005
Timah hitam (timbel)	Pb	0,21	4,8	0,0042
Air raksa	Hg	0,95	1,05	0,00092
Perak (baru)	Ag	0,30	3,3	0,00025
Mangan	Mn	0,43	2,3	±0,00001

Bahan	Simbol	ρ Ω.mm²/m	γ m/Ω.mm²	α 1/K
Konstantan Baja cromnikel	- -	0,49 1,0	2,04 1,0	–0,00003 0,00025
Arang (karbon)	C	50 s.d. 100	0,02 s.d. 0,01	–0,00003
Siliziumkarbid Gelas (kaca) Porselen	- - -	1000 $1 \cdot 10^{16}$ $5 \cdot 10^{18}$	0,001 $1 \cdot 10^{-16}$ $5 \cdot 10^{-19}$	–0,0005 – –

Evaluasi

1. Sebutkan tiga jenis muatan yang terdapat dalam sebuah atom !
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan elektron dan proton !
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ion !
4. Coba anda jelaskan kembali apa yang dimaksud dengan ion positif dan ion negatif !
5. Jelaskan perbedaan arus elektron dan arus listrik !
6. Muatan sebanyak 0,50 Coulomb bergerak dalam 2 detik. Hitung besarnya arus, dan jumlah elektron ?
7. Arus listrik 2 A, mengalir kawat penampang 1 mm2. Hitung a) kerapatan arusnya b) jika dilewatkan kawat diameter 0,02 mm hitungpenampang kawatnya dan kerapatan arusnya.
8. Jelaskan apa yang dimaksud dengan bahan konduktor, isolator dan semi konduktor !
9. Jelaskan mengapa elektron dapat mengalair dalam suatu penghantar

10. Penghantar tembaga (Cu) berpenampang 4 mm2, panjang 100 m, tahanan jenis tembaga 0,0178Ω mm2/m. Hitung tahanan penghantar tersebut.
11. Penghantar kuningan pada temperatur 200C memiliki tahanan 100Ω, penghantar tersebut dalam lingkungan yang panasnya mencapai 800C. Hitunglah tahanan penghantar pada temperatur 800C ?
12. Kawat penghantar memiliki resistansi R = 5 Ω, 10 Ω, 15 Ω. Hitung besarnya daya hantar (konduktivitasnya) !

BAB 2
Hukum Kelistrikan

Pada kehidupan sehari-hari, kadang kita menemukan sebuah alat listrik yang bertuliskan 220 V/2 A. Tulisan tersebut dibuat bukan tanpa tujuan. Tulisan tersebut menginformasikan bahwa alat tersebut akan bekerja optimal dan tahan lama (awet) ketika dipasang pada tegangan 220 V dan kuat arus 2 A. Bagaimana kalau dipasang pada tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah? Misalnya, ada 2 lampu yang bertuliskan 220 V/2 A, masing-masing dipasang pada tegangan 440 V dan 55 V. Apa yang terjadi?

Diskusikan dengan kelompokmu ! komunikasikan kepada orang lain.

Tulisan 220 V/2 A menunjukkan bahwa lampu tersebut mempunyai hambatan sebesar (*R*) $=\frac{220\ V}{2\ A}$ = 110 Ω. Jadi, arus listrik yang

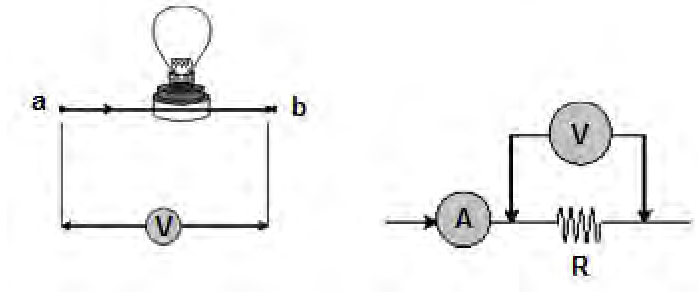
diperbolehkan mengalir sebesar 2 A dan tegangannya sebesar 220 V. Jika dipasang pada tegangan 440 V, maka akan mengakibatkan kenaikan arus menjadi $I = \frac{V}{R} = \frac{440}{110}$ = 4 A. Arus sebesar ini mengakibatkan lampu tersebut bersinar sangat terang tetapi tidak lama kemudian menjadi putus/rusak. Begitu juga apabila lampu tersebut dipasang pada tegangan 55 V, maka arus akan mengalami penurunan menjadi $I = \frac{V}{R} = \frac{55}{110}$ = 0,5 A Arus yang kecil ini mengakibatkan lampu menjadi redup (tidak terang). Oleh karena itu, perhatikan selalu petunjuk penggunaan apabila menggunakan alat-alat listrik.

1. Hukum Ohm

Pada rangkaian listrik tertutup, terjadi aliran arus listrik. Arus listrik mengalir karena adanya beda potensial antara dua titik pada suatu penghantar, seperti pada lampu senter, radio, dan televisi. Alat-alat tersebut dapat menyala (berfungsi) karena adanya aliran listrik dari sumber tegangan yang dihubungkan dengan peralatan tersebut sehingga menghasilkan beda potensial.

Orang pertama yang menyelidiki hubungan antara kuat arus listrik dengan beda potensial pada suatu penghantar adalah Georg Simon Ohm, ahli fisika dari Jerman. Ohm berhasil menemukan hubungan secara matematis antara kuat arus listrik dan beda potensial, yang kemudian dikenal sebagai Hukum Ohm.

Jika ada beda potensial antara dua titik dan dihubungkan melalui penghantar maka akan timbul arus listrik. Penghantar tersebut dapat diganti dengan resistor misalnya lampu. Berarti jika ujung-ujung lampu diberi beda potensial maka lampu itu dialiri arus. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2.1 Rangkaian listrik

Dalam eksperimennya, Ohm menemukan bahwa setiap beda potensial ujung-ujung resistor R dinaikkan maka arus yang mengalir juga akan naik. Bila beda potensial diperbesar 2x ternyata kuat arusnya juga menjadi 2x semula. Apakah hubungan yang terjadi? Dari sifatnya itu dapat ditentukan bahwa beda potensialnya sebanding dengan kuat arus yang lewat. Hubungan ini dapat dirumuskan:

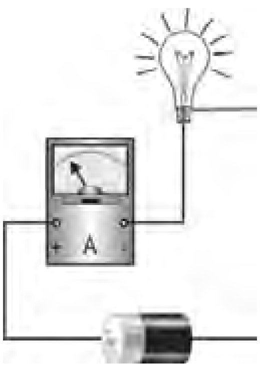
$$V \sim I$$

Hubungan V dan I yang diperoleh Ohm ini sesuai dengan grafikV-I yang diperoleh dari eksperimen, polanya seperti pada *Gambar 2.2*. Agar kesebandingan di atas sama, Ohm menggunakan konstanta perbandingannya sebesar R (resistivitas = hambatan),

sehingga di peroleh persamaan sebagai berikut.

$$V = I\,R$$

Untuk membuktikan hubungan Arus (I), Hambatan (R) dan Beda potensial (V) tersebut, lakukanlah Kegiatan berikut!

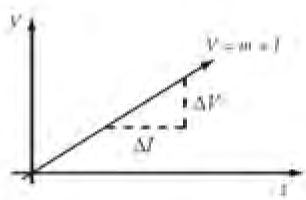


1. Rangkailah sebuah baterai, amperemeter, dan lampu seperti pada gambar di samping dengan menggunakan kabel!
2. Baca dan catat skala yang ditunjukkan oleh amperemeter ke dalam tabel seperti berikut!

No	Jumlah Baterai	Beda Potensial (V)	Kuata Arus (I)	$\frac{V}{I}$
1	1 baterai	1,5 V		
2	2 baterai	3 V		
3	3 baterai	4,5 V		
4	4 baterai	6 V		

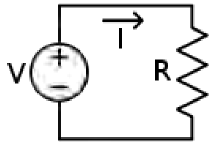
3. Ulangi kegiatan di atas dengan menggunakan 2, 3, dan 4 baterai!
4. Catatlah data yang Anda peroleh!
5. Apa kesimpulan Anda?
6. Komunikasikan kepada orang lain dan diskusikan bersama kelompok !

Berdasarkan tabel pada Kegiatan di atas, Anda ketahui bahwa makin besar beda potensial yang ditimbulkan, maka kuat arus yang mengalir makin besar pula. Besarnya perbandingan antara beda potensial dan kuat arus listrik selalu sama (konstan). Jadi, beda potensial sebanding dengan kuat arus ($V \sim I$). Secara matematis dapat Anda tuliskan $V = m \times I$, m adalah konstanta perbandingan antara beda potensial dengan kuat arus. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar grafik berikut!



Gambar 2.2. Grafik hubungan antara kuat arus dengan beda potensial

Berdasarkan grafik di atas, nilai m dapat Anda peroleh dengan persamaan $m = \frac{\Delta V}{\Delta I}$. Nilai m yang tetap ini kemudian didefinisikan sebagai besaran hambatan listrik yang dilambangkan R, dan diberi satuan ohm (Ω), untuk menghargai Georg Simon Ohm. Jadi, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.



$R = \frac{V}{I}$ atau V = I x R

Keterangan:

V : beda potensial atau tegangan (V)

I : kuat arus (A)

R : hambatan listrik (Ω)

Persamaan di atas dikenal sebagai Hukum Ohm, yang berbunyi:

"*Kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar sebanding dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar itu dengan syarat suhunya konstan/tetap.*"

Contoh soal :

Diketahui kuat arus sebesar 0,5 ampere mengalir pada suatu penghantar yang memiliki beda potensial 6 volt. Tentukan hambatan listrik penghantar tersebut!

Diketahui : $V = 6$ V

$I = 0{,}5$ A

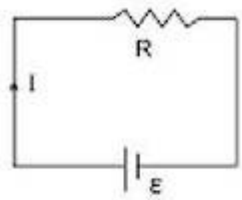
Ditanyakan: $R = \ldots$?

Jawab :

$V = I \times R \rightarrow \quad R = \frac{V}{I} =$

$R = = \frac{6}{0{,}5} = 12\ \Omega$

Hukum Ohm dapat diterapkan pada suatu rangkaian listrik tertutup. Rangkaian listrik tertutup dikatakan sederhana jika memenuhi syarat minimal rangkaian dan memiliki sumber tegangan pada satu loop saja. Syarat minimal rangkaian tertutup adalah ada sumber tegangan, hambatan dan penghantar.



Gambar 2.3 Rangka tertutup sederhana

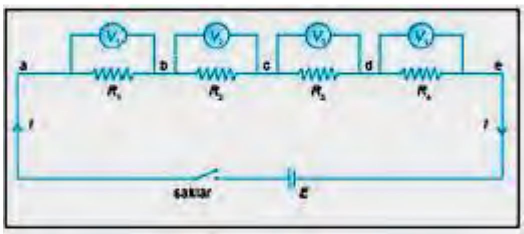
Pada rangkaian listrik sederhana akan memenuhi hukum Ohm seperti persamaan berikut .

$$V = I \times R$$

Rangkaian sederhana dapat dikembangkan dengan beberapa sumber tegangan dan beberapa hambatan. Rangkaian beberapa hambatan dan sumber tegangan ini dapat dibagi beberapa jenis diantaranya *seri, pararel* dan *campuran*. Penjelasan sifat-sifat rangkaian itu dapat dipahami seperti penjelasan berikut.

1.1 Rangkaian Hambatan Seri

Rangkaian seri berarti sambungan antara ujung komponen satu dengan pangkal komponen lain secara berurutan. Contoh rangkaian hambatan seri ini dapat kalian lihat pada *Gambar berikut*.



Gambar 2.3 Rangkaian Seri Resistor

Apakah kalian sudah tahu sifat-sifat yang dimiliki rangkaian R seri? Sifat dasar yang harus kalian pahami adalah tentang kuat arusnya, beda potensial dan hambatan penggantinya.

Arus listrik adalah muatan listrik yang mengalir. Pada rangkaian hambatan seri, muatan-muatan itu akan mengalir melalui semua hambatannya secara bergantian. Berarti muatan yang melalui R_1, R_2 dan R_3 akan sama dan kuat arusnya secara otomatis harus sama. Karena I sama maka sesuai hukum Ohm dapat diketahui bahwa beda potensial ujung-ujung hambatan akan sebanding dengan besarnya R.

$$V \sim R$$

Bagaimana dengan sifat beda potensial tiap-tiap hambatan? Pada tiap-tiap hambatan memiliki beda potensial V1, V2 dan V3. Karena sumbernya E maka jumlah $V_1 + V_2 + V_3$ haruslah sama dengan E. Sifat inilah yang di kenal sebagai *pembagi tegangan*.

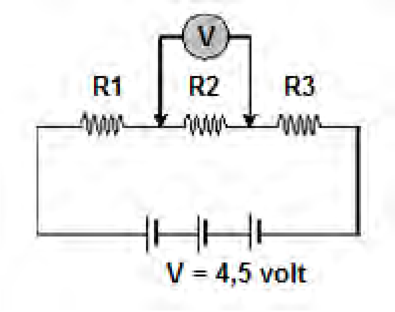
Dari penjelasan di atas dapat dirumuskan dua sifat rangkaian R seri sebagai berikut.

$$I_1 = I_2 = I_3$$
$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3$$

Beberapa hambatan yang diseri dapat diganti dengan satu hambatan. Besarnya hambatan itu dapat diturunkan dengan membagi persamaan beda potensial dengan kuat arus (I sama)

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$
$$\frac{Vtot}{I} = \frac{V1}{I1} + \frac{V2}{I2} + \frac{V3}{I3}$$
$$Rs = R_1 + R_2 + R_3$$

Contoh Soal :



Tiga hambatan R1 = 20 Ω, R2 = 30 Ω dan R3 = 50 Ωdirangkai seri dan dihubungkan pada beda potensial 4,5 volt seperti pada gambar disamping. Tentukan(a) hambatan pengganti dan (b) beda potensial ujungujung hambatan R2!

Penyelesaian

a. Hambatan pengganti seri memenuhi:

Rs = R1 + R2 + R3 = 20 + 30 + 50 = 100 Ω

b. Beda potensial ujung-ujung R2 : V2 dapat ditentukan dengan menghitung kuat arus terlebih dahulu:

$I_2 = \frac{V}{Rs} = \frac{4,5}{100} = 0,045$ A

Dari nilai I_2 ini dapat dihitung beda potensial V_2 sebesar:

$V_2 = I_2 \cdot R_2 = 0,045 \cdot 30 = 1,35$ volt.

Metode Kesebandingan

Pada rangkaian seri I sama berarti:

V ~ R

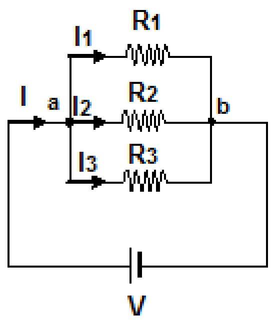
$\frac{V2}{Vtot} = \frac{R2}{Rs}$ berarti $V2 = \frac{30}{100} \times 4,5 = 1,35$ volt

Latihan Soal !

Diketahui tiga resistor yang dirangkai seri dengan hambatan sebesar R_1 = 100 Ω, R_2 = 200 Ω dan R_3 = 300 Ω. Ujung-ujung rangkaian itu dihubungkan pada sumber tegangannya 120 volt. Tentukan (a) beda potensial ujung-ujung R_1dan (b) beda potensial ujung-ujung R_2!

1.2 Rangkaian Hambatan Paralel

Kalian sudah belajar rangkaian hambatan seri sekarang bagaimana dengan jenis rangkaian kedua, yaitu rangkaian hambatan paralel? Apa bedanya? Hambatan yang dirangkai paralel berarti ujungnya dihubungkan menjadi satu dan pangkalnya juga menyatu. Contoh rangkaiannya seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Rangkaian Hambatan Paralel

Pada gambar di atas terlihat bahwa semua ujungnya dititik yang sama yaitu *a* dan b. Jika diukur beda potensialnya tentunya akan memiliki hasil yang sama.

Bagaimana dengan sifat kuat arus yang lewat ke semua cabang? Aliran muatan dapat diibaratkan dengan aliran air dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah. Jika ada percabangan pada suatu titik maka aliran air itu akan terbagi. Besar aliran itu akan disesuaikan dengan hambatan yang ada pada setiap cabang. Yang terpenting pada pembagian itu adalah jumlah air yang terbagi harus sama dengan jumlah bagian-bagiannya. Sifat aliran air ini dapat menjelaskan bahwa kuat arus yang terbagi pada percabangan I harus sama dengan jumlah kuat arus setiap cabang ($I_1 + I_2 + I_3$). Sesuai hukum Ohm maka kuat arus setiap cabang berbanding terbalik dengan hambatannya.

$$I \sim \frac{1}{R}$$

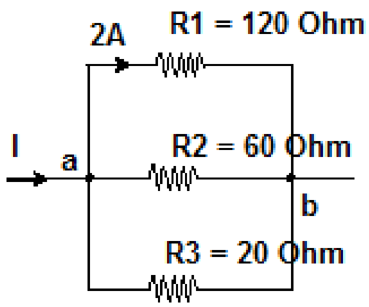
Dari penjelasan di atas dapat dituliskan dua sifat utama pada rangkaian hambatan paralel pada Gambar di atas. seperti berikut.

$$V_{tot} = V_1 = V_2 = V_3$$
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Sesuai dengan hambatan seri, pada beberapa hambatan yang di rangkai paralel juga dapat diganti dengan satu hambatan. Hambatan itu dapat di tentukan dari membagi persamaan kuat arus dengan besar potensial pada kedua massa seperti berikut.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$
$$\frac{1}{Vtot} = \frac{1}{V1} + \frac{1}{V2} + \frac{1}{V3}$$
$$\frac{I}{Rp} = \frac{I}{R1} + \frac{I}{R2} + \frac{I}{R3}$$

Contoh :



Perhatikan rangkaian hambatan paralel pada Gambar disamping. Tentukan:

a. kuat arus yang melalui hambatan R2 dan R3,

b. kuat arus I

c. beda potensial V_{ab}

Penyelesaian :

a. I_1 = 2A
Pada rangkaian hambatan paralel beda potensialnya sama berarti berlaku hubungan berikut.

$$V_2 = V_1$$

$$I_2 \,.\, R_2 = I_1 \,.\, R_1$$

$$I_2 \,.\, 60 = 2.120$$

$$I_2 = 4A$$

Dengan cara yang sama dapat ditentukan kuat arus I_3.

$$V_3 = V_1$$

$$I_3 \,.\, R_3 = I_1 \,.\, R_1$$

$$I_3 \,.\, 20 = 2 \,.\, 120$$

$$I_3 = 12\ A$$

b. Kuat arus I dapat di tentukan sebagai berikut:

$I = I_1 + I_2 + I_3$

$= 2 + 4 + 12 = 18A$

c. Beda potensial Vab memenuhi:

$V_{ab} = I_1 \,.\, R_1 = 2 \,.\, 120 = 240$ volt

Latihan Soal :

2 Ω dirangkai paralel. Kemudian ujung-ujungnya dihubungkan sumber tegangan sehingga pada R_1 di lalui arus 0,5 A. Tentukan:

a. kuat arus yang melalui R_2 dan R_3,

b. beda potensial sumber tegangan!

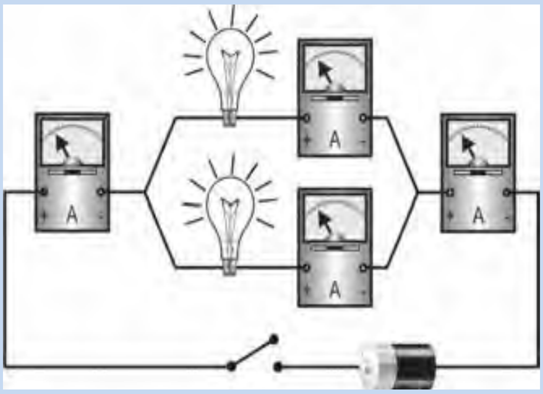
1.3 Rangkaian Campuran

Rangkaian campuran menunjukkan gabungan dari rangkaian hambatan seri dan paralel. Sifat-sifat rangkaian ini adalah gabungan dari keadaan sifat rangkaian tersebut. Untuk lebih memahaminya cermati contoh berikut.

2. Hukum Kirchoff

2.1 Hukum I Kirchoff

Anda sudah dapat mengukur kuat arus listrik dalam suatu rangkaian tertutup sederhana yang tidak bercabang, di mana kuat arus di setiap titik pada setiap penghantar besarnya sama. Bagaimana cara mengukur kuat arus yang mengalir pada rangkaian bercabang? Apakah cara mengukur kuat arus pada rangkaian itu juga sama? Untuk mejawab pertanyaan-pertanyaan tersebut lakukanlah Kegiatan berikut !



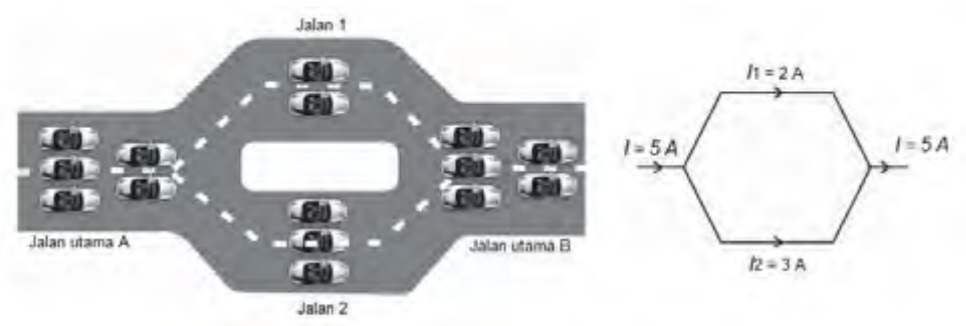
1. *Sediakan Baterai, 4 buah amperemeter, dua buah lampu pijar dan kabel*
2. *Buatlah rangkaian seperti terlihat pada gambar di atas!*
3. *Tutuplah sakelar (s) dan bacalah skala yang ditunjukkan oleh jarum amperemeter 1, 2, 3, dan 4!*
4. *Bandingkan besar kuat arus pada masing-masing amperemeter tersebut!*
5. *Nyatakan kesimpulan Anda!*

Pada Kegiatan di atas, ternyata amperemeter 1 dan 4 menunjukkan skala yang sama, sedangkan jumlah dari skala yang ditunjukkan amperemeter 2 dan 3 sama dengan skala yang ditunjukkan amperemeter 1 dan 4.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa “ arus yang masuk pada titik percabangan sama dengan kuat arus yang keluar pada titik percabangan tersebut ”. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum I Kirchoff, yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar}$$

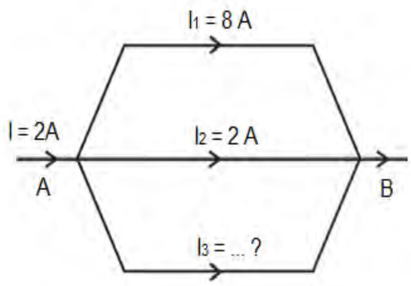
Untuk lebih memahami kuat arus pada rangkaian listrik bercabang, dapat Anda umpamakan sebagai jalan raya yang bercabang.



Gambar 2.5 Jumlah arus tiap titik pada rangkaian bercabang

Pada Gambar diatas, terlihat bahwa jumlah mobil di jalan utama A sebanyak lima buah, kemudian mobil tersebut berpencar di persimpangan sehingga yang melewati jalan satu sebanyak 2 buah dan jalan dua sebanyak tiga buah. Pada persimpangan yang lain, mobil-mobil tersebut bertemu lagi di jalan utama B sehingga mobil yang melewati jalan utama B sama dengan jumlah mobil yang melewati jalan satu dan dua atau jumlah mobil yang melewati jalan utama A.

Contoh soal



1. Pada gambar rangkaian di samping! Berapa besar kuat aru

s pada I_3 ?

Diketahui : I_{masuk} = 12 A

I_1 = 8 A

I_2 = 3 A

Ditanyakan: I_3 = ... ?

Jawab :

$\Sigma I_{\ masuk} = \Sigma I_{\ keluar}$

$I_{\ total} = I_1 + I_2 + I_3$

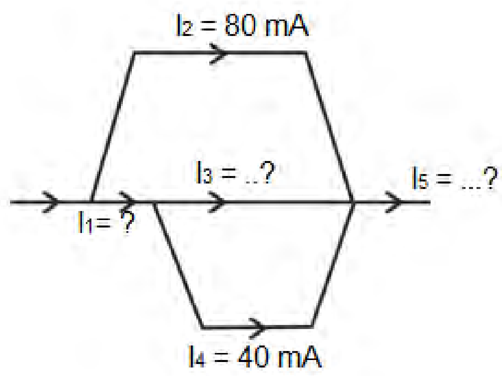
$12 = 8 + 3 + I_3$

$12 = 11 + I_3$

$I_3 = 12 - 11$

$I_3 = 1$ A

2. Perhatikan gambar di samping! Jika besarnya arus yang masuk 200 mA, maka hitunglah besarnya kuat arus $I1$, $I3$ dan $I5$!



Diketahui : I_{masuk} = 200 mA

I_2 = 80 mA

I_4 = 40 mA

Ditanyakan: a. I_1 = ... ?

b. I_3 = ... ?

c. I_5 = ... ?

Jawab :

a. $I_{masuk} = I_1 + I_2$

200 $= I_1 + 80$

I_1 $= 200 - 80$

$= 120$ mA

b. $I_1 = I_3 + I_4$

120 $= I_3 + 40$

$I_3 = 120 - 40$

$= 80$ mA

c. $I_5 = I_2 + I_3 + I_4$

$= 80 + 80 + 40$

$= 200$ mA

2.2 Hukum II Kirchhoff

Hukum II Kirchhoff atau hukum loop menyatakan bahwa *jumlah perubahan potensial yang mengelilingi lintasan tertutup pada suatu rangkaian harus sama dengan nol*. Hukum ini di dasarkan pada hukum kekekalan energi.

Secara matematis hukum II Kirchhoff dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\Sigma E = \Sigma (I \times R)$$

Keterangan:

E : ggl sumber arus (volt)

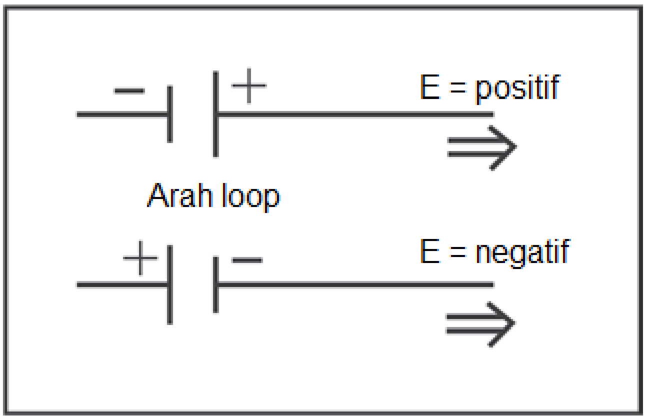
I : kuat arus (A)

R : hambatan (Ω)

Pada perumusan hukum II Kirchhoff, mengikuti ketentuan sebagai berikut.

a. Semua hambatan (*R*) dihitung positif.

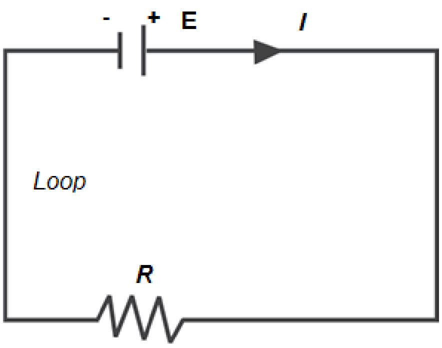
b. Pada arah perjalanan atau penelusuran rangkaian tertutup (loop), jika sumber arus berawal dari kutub negatif ke kutup positif, maka gglnya dihitung positif. Jika sebaliknya dari kutub positif ke kutub negatif, maka gglnya dihitung negatif
c. Arus yang searah dengan penelusuran loop dihitung positif, sedang yang berlawanan dengan arah penelusuran dihitung negatif.
d. Jika hasil akhir perhitungan kuat arus bernilai negatif, maka kuat arus yang sebenarnya merupakan kebalikan dari arah yang ditetapkan.



Gambar 2.6 Tanda positif dan negatif ggl

a. Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Sederhana

Pada dasarnya sumber tegangan ggl memiliki hambatan dalam yang disimbulkan dengan *r*. Nilai *r* ini adalah nilai hambatan yang ada dalam ggl sumber tegangan pada suatu rangkaian. Perhatikan Gambar berikut.



Gambar 2.7 Rangkaian Tertutup

Pada Gambar 2.7 di atas melukiskan rangkaian tertutup yang terdiri atas sebuah sumbu arus dengan ggl *E*, hambatan dalam *r*, dan sebuah penghambat dengan hambatan *R*, sedang arus pada rangkaian *I*. Menurut hukum II Kirchhoff, pada rangkaian berlaku persamaan seperti berikut.

$$E = (I \times r) + (I \times R) \text{ atau } E = I\,(r + R) \text{ atau } I = \frac{E}{r+R}$$

Keterangan:

- *E* : ggl sumber arus (V)
- *I* : kuat arus (A)
- *r* : hambatan dalam sumber arus (Ω)
- *R* : hambatan penghambat (Ω)

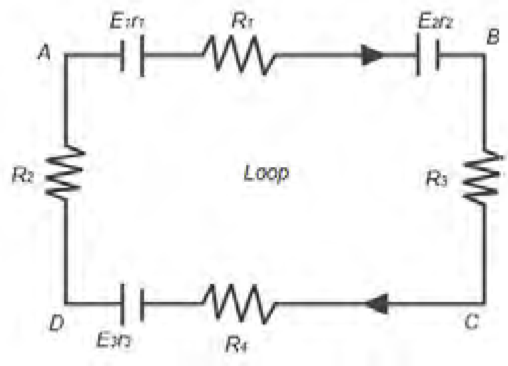
Nilai $I \times R$ pada persamaan di atas merupakan tegangan penggunaan di luar sumber arus yang disebut tegangan jepit (*K*). Jadi, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut.

$$E = I \times r + K \text{ atau } K = E - I \times r$$

Keterangan:

- *K* : tegangan jepit (V)

b. Kuat Arus Listrik dalam Rangkaian Majemuk (Kompleks)



Gambar 2.8 Rangkaian satu loop

Gambar 2.8 di atas menunjukkan satu rangkaian tertutup yang terdiri atas satu loop. Misalkan arah arus dan arah penelusuran loop kita tentukan searah putaran jarum jam. Menurut hukum II Kirchhoff pada rangkaian berlaku persamaan $\Sigma\ E = \Sigma(\ I \times R)$. Oleh karena itu persamaannya menjadi seperti berikut.

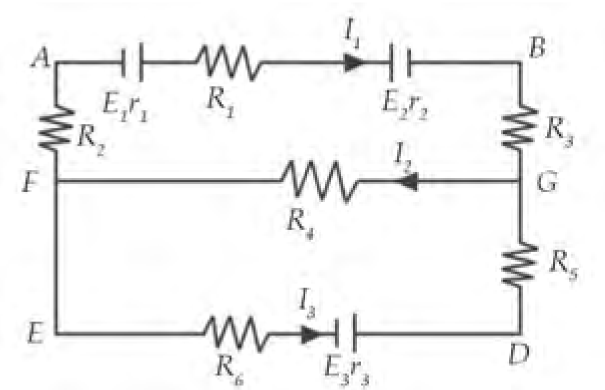
$$E_1 - E_2 + E_3 = I(r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_3 + R_4 + r_4)$$

Jika pada penjabaran di atas dihasilkan nilai *I* negatif, maka arah arus yang sebenarnya adalah kebalikan dari arah yang ditentukan pada gambar. Bagaimana jika penelusuran rangkaian berawal dari satu titik dan berakhir pada titik lain? Misalkan Anda akan menentukan tegangan atau beda potensial antara titik A dan B pada Gambar di atas. Berdasarkan Hukum II Kirchhoff dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$VAB + \Sigma E = \Sigma\ (I \times R)$$

$$V_{AB} + E_1 - E_2 = I(r_1 + R_1 + r_2)$$

Untuk rangkaian yang memiliki dua loop atau lebih dapat diselesaikan dengan hukum II Kirchhoff dan hukum I Kirchhoff. Perhatikan Gambar berikut.



Gambar 2.9 Rangkaian dua Loop

Pada gambar 2.9 di atas dilukiskan rangkaian tertutup yang terdiri atas dua loop. Arah arus dan arah penelusuran tiap loop. Misalkan Anda bagi menjadi seperti berikut.

- Loop I ABGFA

  $\Sigma E = \Sigma (I \times R)$

  $E_1 - E_2 = I(r_1 + R_1 + r_2 + R_2 + R_3) + I_2 \times R_4$

- Loop II FEDGF

  $\Sigma E = \Sigma(I \times R)$

  $E_3 = I_3 (R_6 + r_3 + R_5) + I \times R_4$

- Penerapan Hukum I Kirchhoff

  $I_2 = I_1 + I_3$

3. Teorema Rangkaian

Untuk menyelesaikan persoalan yang muncul pada Rangkaian Listrik dapat digunakan suatu teorema tertentu. Dengan pengertian bahwa suatu persoalan Rangkaian Listrik bukan tidak dapat dipecahkan dengan hukum-hukum dasar atau konsep dasar ataupun dengan bantuan suatu analisis tertentu, tetapi pada pembahasan ini, dibahas bahwa penggunaan teorema tertentu dalam menyelesaikan persoalan yang muncul pada Rangkaian Listrik dapat dilakukan dengan menggunakan suatu teorema tertentu. Bahwa nantinya pada implementasi penggunaan teorema tertentu akan diperlukan suatu bantuan konsep dasar ataupun analisis rangkaian.

Ada beberapa teorema yang dibahas pada bab ini , yaitu :

1. Teorema Superposisi
2. Teorema Substitusi
3. Teorema Thevenin
4. Teorema Norton
5. Teorema Millman
6. Teorema Transfer Daya Maksimum

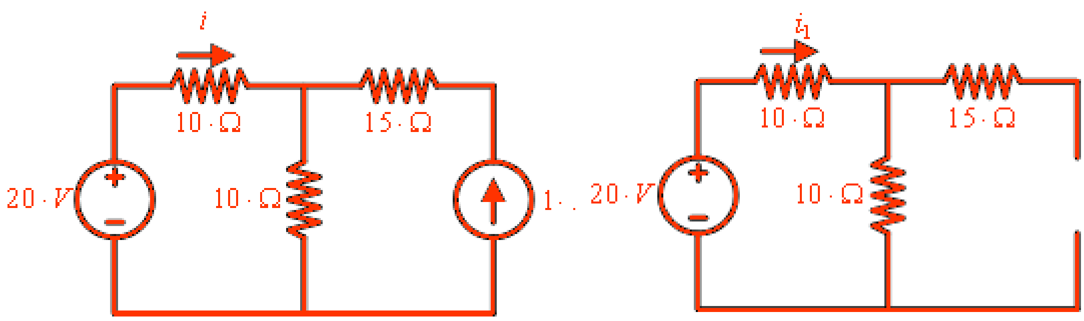
A. Teorema Superposisi (Kesebandingan Lurus)

Teori superposisi ini hanya berlaku untuk rangkaian yang bersifat linier. Rangkaian linier adalah suatu rangkaian dimana persamaan yang muncul akan memenuhi jika y = kx, dimana k = konstanta dan x = variabel. Pada setiap rangkaian linier dengan beberapa buah sumber tegangan/ sumber arus dapat dihitung dengan cara :

"Menjumlah aljabarkan tegangan/ arus yang disebabkan tiap sumber yang bekerja sendiri-sendiri".

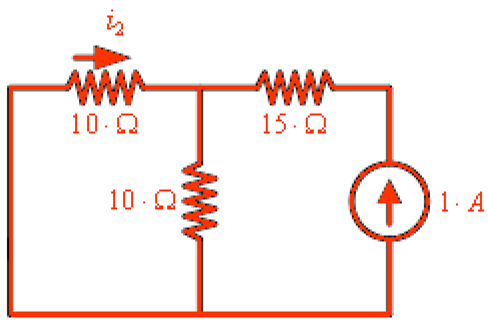
Pengertian dari teori diatas bahwa jika terdapat n buah sumber maka dengan teori superposisi sama dengan n buah keadaan rangkaian yang dianalisis, dimana nantinya n buah keadaan tersebut akan dijumlahkan.
Ini berarti bahwa bila terpasang dua atau lebih sumber tegangan/sumber arus, maka setiap kali hanya satu sumber yang terpasang secara bergantian. Sumber tegangan dihilangkan dengan cara menghubung singkatkan ujung-ujungnya (short circuit), sedangkan sumber arus dihilangkan dengan cara membuka hubungannya (open circuit).

Rangkaian berikut ini dapat dianalisis dengan mengkondisikan sumber tegangan aktif/bekerja sehingga sumber arusnya menjadi tidak aktif (diganti dengan rangkaian *open circuit* = *OC*). Oleh sebab itu arus i dalam kondisi sumber arus OC yang mengalir di R10Ω dapat ditentukan.



Gambar 2.10 Contoh Rangkaian Superposisi

Kemudian dengan mengkondisikan sumber arus aktif/bekerja maka sumber tegangan tidak aktif (diganti dengan rangkaian *short circuit*). Disini arus i dalam kondisi sumber tegangan SC yang mengalir di R10 Ω dapat ditentukan juga. Akhirnya dengan penjumlahan aljabar kedua kondisi tersebut maka arus total akan diperoleh.



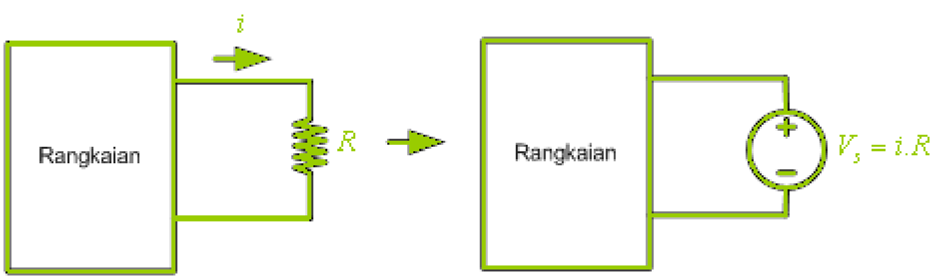
Gambar 2.11 Rangkaian dengan sumber di hubung singkat

B. Teorema Substitusi

Pada teorema ini berlaku bahwa :

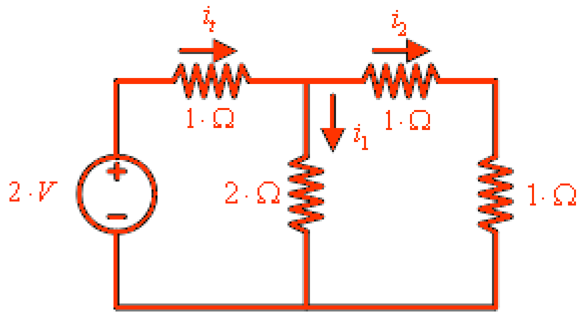
"Suatu komponen atau elemen pasif yang dilalui oleh sebuah arus yang mengalir (sebesar i) maka pada komponen pasif tersebut dapat digantikan dengan sumber tegangan Vs yang mempunyai nilai yang sama saat arus tersebut melalui komponen pasif tersebut".

Jika pada komponen pasifnya adalah sebuah resistor sebesar R, maka sumber tegangan penggantinya bernilai Vs = i.R dengan tahanan dalam dari sumber tegangan tersebut sama dengan nol.



Gambar 2.12 Illustrasi rangkaian teori substitusi

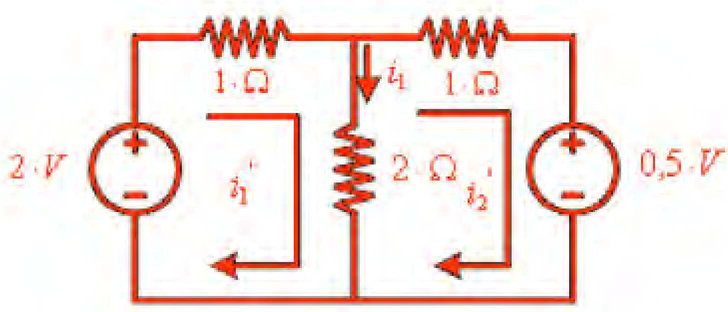
Rangkaian berikut dapat dianalisis dengan teori substitusi untuk menentukan arus yang mengalir pada resistor 2 Ω.



Gambar 2.13 Contoh rangkaian teori substitusi

Harus diingat bahwa elemen pasif yang dilalui oleh sebuah arus yang mengalir (sebesar i) maka pada elemen pasif tersebut dapat digantikan dengan sumber tegangan Vs yang mempunyai nilai yang sama saat arus tersebut melaluinya.

Kemudian untuk mendapatkan hasil akhirnya analisis dapat dilakukan dengan analisis mesh atau arus loop.



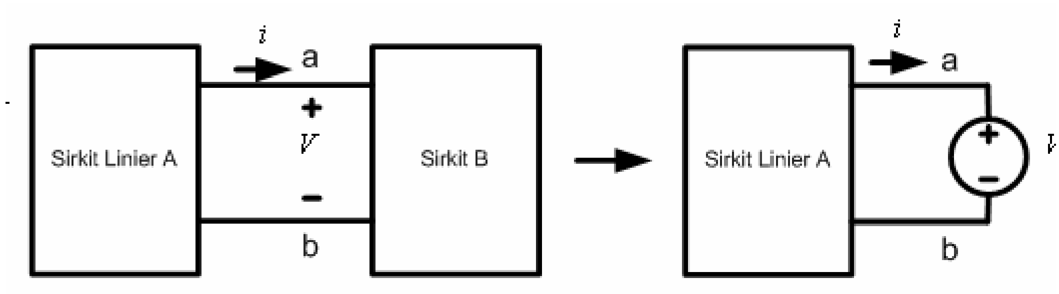
Gambar 2.14 Illustrasi rangkai teori substitusi

C. Teorema Thevenin

Pada teorema ini berlaku bahwa :

"Suatu rangkaian listrik dapat disederhanakan dengan hanya terdiri dari satu buah sumber tegangan yang dihubungserikan dengan sebuah tahanan ekivelennya pada dua terminal yang diamati".

Tujuan sebenarnya dari teorema ini adalah untuk menyederhanakan analisis rangkaian, yaitu membuat rangkaian pengganti yang berupa sumber tegangan yang dihubungkan seri dengan suatu resistansi ekivalennya.

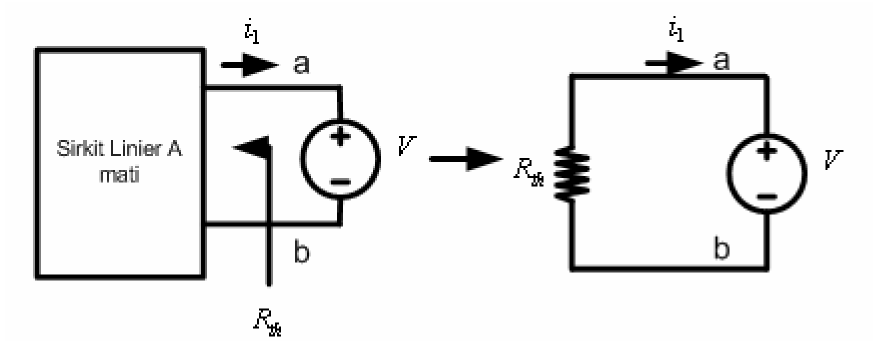


Gambar 2.14 Rangkaian Ekivalen Thevenin

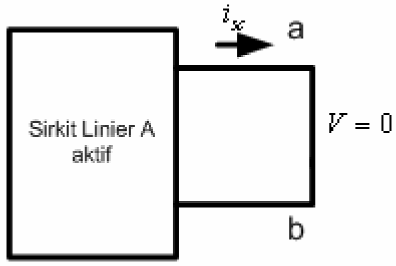
Pada gambar diatas, dengan terorema substitusi kita dapat melihat rangkaian sirkit B dapat diganti dengan sumber tegangan yang bernilai sama saat arus melewati sirkit B pada dua terminal yang kita amati yaitu terminal a-b.

Setelah kita dapatkan rangkaian substitusinya, maka dengan menggunakan teorema superposisi didapatkan bahwa :

1. Ketika sumber tegangan V aktif/bekerja maka rangkaian pada sirkit linier A tidak aktif (semua sumber bebasnya mati diganti tahanan dalamnya), sehingga didapatkan nilai resistansi ekivelnnya.



2. Ketika sirkit linier A aktif/bekerja maka pada sumber tegangan bebas diganti dengan tahanan dalamnya yaitu nol atau rangkaian *short circuit*.

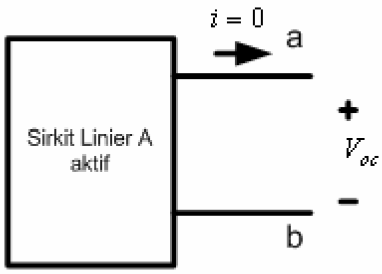


Dengan menggabungkan kedua keadaan tadi (teorema superposisi) maka didapatkan :

$$i = i_1 + i_{sc}$$

$$i = -\frac{V}{Rth} + i_{sc}$$

Pada saat terminal a-b di open circuit (OC), maka i yang mengalir samadengan nol
(i = 0), sehingga :



$$i = -\frac{V}{R_{th}} + i_{sc}$$

$$0 = -\frac{V_{oc}}{R_{th}} + i_{sc}$$

$$V_{oc} = i_{sc}.R_{th}$$

Dari persamaan di atas didapatkan :

$$i = -\frac{V}{R_{th}} + i_{sc} = -\frac{V}{R_{th}} + i_{sc}\frac{R_{th}}{R_{th}} = \frac{1}{R_{th}}(-V + i_{sc}.R_{th})$$

$$i.R_{th} = -V + V_{oc}$$

$$V = V_{oc} - i.R_{th}$$

Cara memperoleh resistansi penggantinya (Rth) adalah dengan mematikan atau menon aktifkan semua sumber bebas pada rangkaian linier A (untuk sumber tegangan tahanan dalamnya = 0 atau rangkaian short circuit dan untuk sumber arus tahanan dalamnya = ∞ atau rangkaian open circuit).

Jika pada rangkaian tersebut terdapat sumber *dependent* atau sumber tak bebasnya, maka untuk memperoleh resistansi penggantinya, terlebih dahulu kita mencari arus hubung singkat (isc), sehingga nilai resistansi penggantinya (Rth) didapatkan dari nilai tegangan pada kedua terminal tersebut yang di-*open circuit* dibagi dengan arus pada kedua terminal tersebut yang di- *short circuit* .

Langkah-langkah penyelesaian dengan teorema Thevenin :

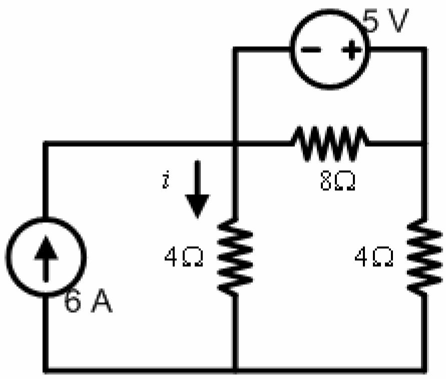
1. Cari dan tentukan titik terminal a-b dimana parameter yang ditanyakan.
2. Lepaskan komponen pada titik a-b tersebut, *open circuit* kan pada terminal a-b kemudian hitung nilai tegangan dititik a-b tersebut ($V_{ab} = V_{th}$).
3. Jika semua sumbernya adalah sumber bebas, maka tentukan nilai tahanan diukur pada titik a-b tersebut saat semua sumber di non aktifkan dengan cara diganti dengan tahanan dalamnya (untuk sumber tegangan bebas diganti rangkaian *short circuit* dan untuk sumber arus bebas diganti dengan rangkaian *open circuit*) ($R_{ab} = R_{th}$).
4. Jika terdapat sumber tak bebas, maka untuk mencari nilai tahanan pengganti Theveninnya didapatkan dengan cara

$$R_{th} = \frac{Vth}{Isc}$$

5. Untuk mencari Isc pada terminal titik a-b tersebut dihubungsingkatkan dan dicari arus yang mengalir pada titik tersebut (Iab = Isc).
6. Gambarkan kembali rangkaian pengganti Theveninnya, kemudian pasangkan kembali komponen yang tadi dilepas dan hitung parameter yang ditanyakan.

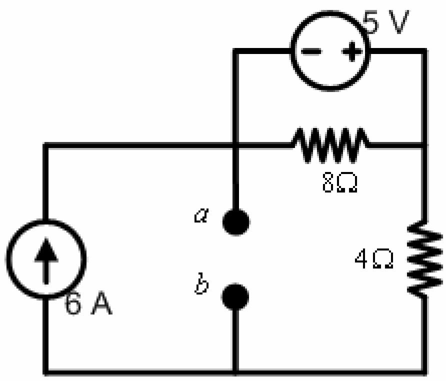
Contoh :

Tentukan nilai arus i dengan teorama Thevenin !



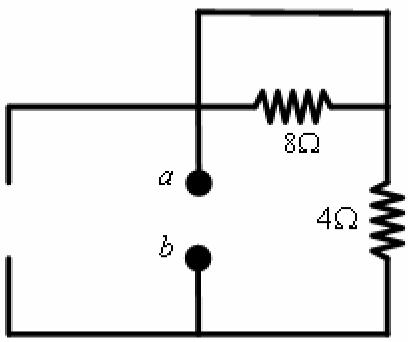
Jawaban :

Tentukan titik a-b pada R dimana parameter i yang ditanyakan, hitung tegangan dititik a-b pada saat terbuka :



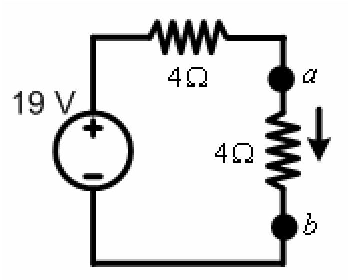
$V_{ab} = V_{ac} = -5 + 4.6 = -5 + 24 = 19$ V

Mencari Rth ketika semua sumber bebasnya tidak aktif (diganti dengan tahanan dalamnya) dilihat dari titik a-b :



$R_{th} = 4\ \Omega$

Rangkaian pengganti Thevenin :



Sehingga :

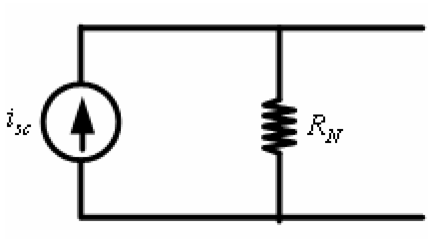
$$i = \frac{19}{8}\ A$$

D. Teorema Norton

Pada teorema ini berlaku bahwa :

"Suatu rangkaian listrik dapat disederhanakan dengan hanya terdiri dari satu buah sumber arus yang dihubungparalelkan dengan sebuah tahanan ekivelennya pada dua terminal yang diamati".

Tujuan untuk menyederhanakan analisis rangkaian, yaitu dengan membuat rangkaian
pengganti yang berupa sumber arus yang diparalel dengan suatu tahanan ekivalennya.



$$i = -\frac{V}{RN} + i_{sc}$$

Langkah-langkah penyelesaian dengan teorema Norton :

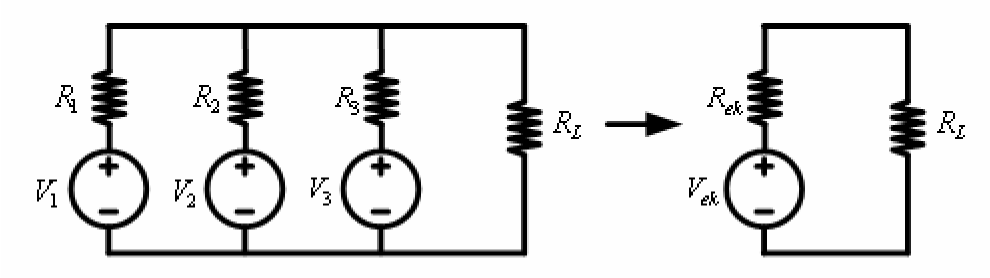
1. Cari dan tentukan titik terminal a-b dimana parameter yang ditanyakan.
2. Lepaskan komponen pada titik a-b tersebut, *short circuit* kan pada terminal a-b kemudian hitung nilai arus dititik a-b tersebut (Iab = Isc = IN).
3. Jika semua sumbernya adalah sumber bebas, maka tentukan nilai tahanan diukur pada titik a-b tersebut saat semua sumber di non aktifkan dengan cara diganti dengan tahanan dalamnya (untuk sumber tegangan bebas diganti rangkaian *short circuit* dan untuk sumber arus bebas diganti dengan rangkaian *open circuit*) ($R_{ab} = R_N = R_{th}$).
4. Jika terdapat sumber tak bebas, maka untuk mencari nilai tahanan pengganti Nortonnya didapatkan dengan cara :

$$R_N = \frac{Voc}{IN}$$

5. Untuk mencari V_{oc} pada terminal titik a-b tersebut dibuka dan dicari tegangan pada titik tersebut ($V_{ab} = V_{oc}$).
6. Gambarkan kembali rangkaian pengganti Nortonnya, kemudian pasangkan kembali komponen yang tadi dilepas dan hitung parameter yang ditanyakan.

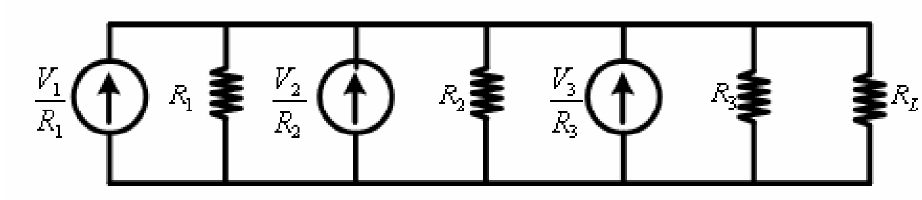
E. Teorema Millman

Teorema ini seringkali disebut juga sebagai teorema transformasi sumber, baik dari sumber tegangan yang dihubungserikan dengan resistansi ke sumber arus yang dihubungparalelkan dengan resistansi yang sama atau sebaliknya. Teorema ini berguna untuk menyederhanakan rangkaian dengan multi sumber tegangan atau multi sumber arus menjadi satu sumber pengganti.

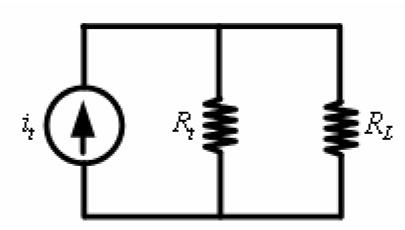


Langkah-langkah :

- Ubah semua sumber tegangan ke sumber arus



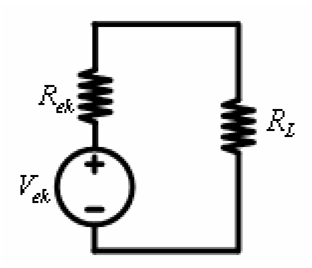
- Jumlahkan semua sumber arus paralel dan tahanan paralel



$$i = \frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R2} + \frac{V3}{R3}$$

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

- Konversikan hasil akhir sumber arus ke sumber tegangan



$V_{ek} = i_t \cdot R_t$

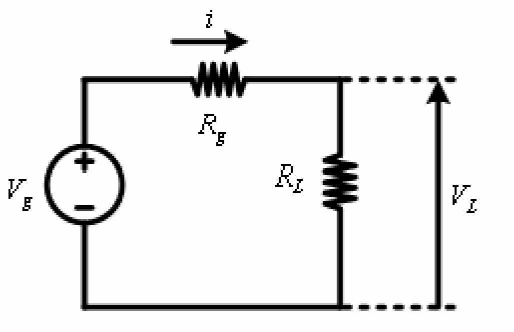
$R_{ek} = R_t$

F. Teorema Transfer Daya Maksimum

Teorema ini menyatakan bahwa :

"Transfer daya maksimum terjadi jika nilai resistansi beban sama dengan nilai resistansi sumber, baik dipasang seri dengan sumber tegangan ataupun dipasang paralel dengan sumber arus".

Hal ini dapat dibuktikan dengan penurunan rumus sebagai berikut :



$$P_L = V_L \, . \, i = i \, . \, R_L \, . \, i = i^2 \, . \, R_L$$

Dimana :

$$i = \frac{V_g}{R_g + R_L}$$

Sehingga :

$$P_L = (\frac{V_g}{R_g + R_L})^2 . R_L$$

Dengan asumsi Vg dan Rg tetap, dan Pl merupakan fungsi RL, maka untuk mencapai nilai maksimum PL adalah :

$$P_L = \left(\frac{V_g}{R_g + R_L}\right)^2 R_L = \frac{V_g^{\,2}}{(R_g + R_L)^2} R_L = V_g^{\,2} (R_g + R_L)^{-2} R_L$$

$$\frac{dP_L}{dR_L} = V_g^{\,2} \left[(R_g + R_L)^{-2} - 2(R_g + R_L)^{-3} R_L \right]$$

$$0 = V_g^{\,2} \left[\frac{1}{(R_g + R_L)^2} - \frac{2R_L}{(R_g + R_L)^3} \right]$$

$$0 = V_g^{\,2} \left[\frac{R_g - R_L}{(R_g + R_L)^3} \right]$$

Sehingga ;

$R_L = R_g$

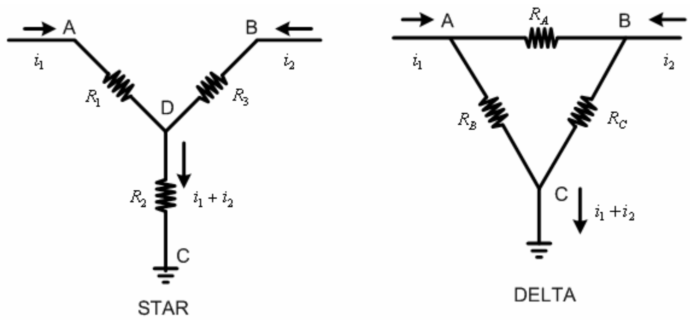
Teorema transfer daya maksimum adalah daya maksimum yang dikirimkan ketika beban R_L samadengan beban intern sumber R_g.

Maka didapatkan daya maksimum :

$$P_{L_{max}} = \frac{V_g^{\,2}}{4R_g}$$

G. Transformasi Resistansi Star – Delta (Y−Δ)

Jika sekumpulan resistansi yang membentuk hubungan tertentu saat dianalisis ternyata bukan merupakan hubungan seri ataupun hubungan paralel yang telah kita pelajari sebelumnya, maka jika rangkaian resistansi tersebut membentuk hubungan star atau bintang atau rangkaian tipe T, ataupun membentuk hubungan delta atau segitiga atau rangkaian tipe Δ, maka diperlukan transformasi baik dari star ke delta ataupun sebaliknya.



Gambar 2.15 Transformasi Star - delta

Tinjau rangkaian Star (Y) :

Tinjau node D dengan analisis node dimana node C sebagai ground.

$$\frac{V_D - V_A}{R_1} + \frac{V_D - V_B}{R_3} + \frac{V_D}{R_2} = 0$$

$$V_D(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2}) = \frac{V_A}{R_1} + \frac{V_B}{R_3}$$

$$V_D(\frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_1R_2R_3}) = \frac{V_A}{R_1} + \frac{V_B}{R_3}$$

$$V_D = \frac{R_2R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_A + \frac{R_1R_2}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_B$$

$$\Rightarrow i_1 = \frac{V_A - V_D}{R_1} = \frac{V_A}{R_1} - \frac{V_D}{R_1} = \frac{V_A}{R_1} - \frac{1}{R_1}(\frac{R_2R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_A + \frac{R_1R_2}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_B)$$

$$i_1 = \frac{R_2 + R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_A - \frac{R_2}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_B \cdots\cdots\cdots(1)$$

$$\Rightarrow i_2 = \frac{V_B - V_D}{R_3} = \frac{V_B}{R_3} - \frac{V_D}{R_3} = \frac{V_B}{R_3} - \frac{1}{R_3}(\frac{R_2R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_A + \frac{R_1R_2}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_B)$$

$$i_2 = \frac{R_1R_2 + R_1R_3}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}V_A - \frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}V_B \cdots\cdots\cdots(2)$$

Tinjau rangkaian delta (Δ)

Tinjau node A dengan analisis node dimana node C sebagai ground :

$$\frac{V_A - V_B}{R_A} + \frac{V_A}{R_B} = i_1$$

$$(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B})V_A - \frac{1}{R_A}V_B = i_1$$

Bandingkan dengan persamaan (1) pada rangkaian (Y) :

$$\frac{R_2 + R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_A - \frac{R_2}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}V_B = i_1$$

$$(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B})V_A - \frac{1}{R_A}V_B = i_1$$

Sehingga :

$$\Rightarrow \frac{1}{R_A} = \frac{R_2}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}$$

$$R_A = \frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} = \frac{R_2 + R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}$$

$$\frac{1}{R_B} = \frac{R_2 + R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3} - \frac{1}{R_A}$$

$$\frac{1}{R_B} = \frac{R_2 + R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3} - \frac{R_2}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}$$

$$\frac{1}{R_B} = \frac{R_3}{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}$$

$$R_B = \frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_3}$$

Tinjau node B :

$$\frac{V_B - V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_C} = i_2$$

$$-\frac{1}{R_A}V_A + (\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_C})V_B = i_2$$

Bandingkan dengan persamaan (2) pada rangkaian Star (Y) :

$$\frac{R_1R_2 + R_1R_3}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}V_A - \frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}V_B = i_2$$

$$-\frac{1}{R_A}V_A + (\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_C})V_B = i_2$$

sehingga :

$$\Rightarrow \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_C} = -\frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}$$

$$\frac{1}{R_C} = -\frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)} - \frac{1}{R_A}$$

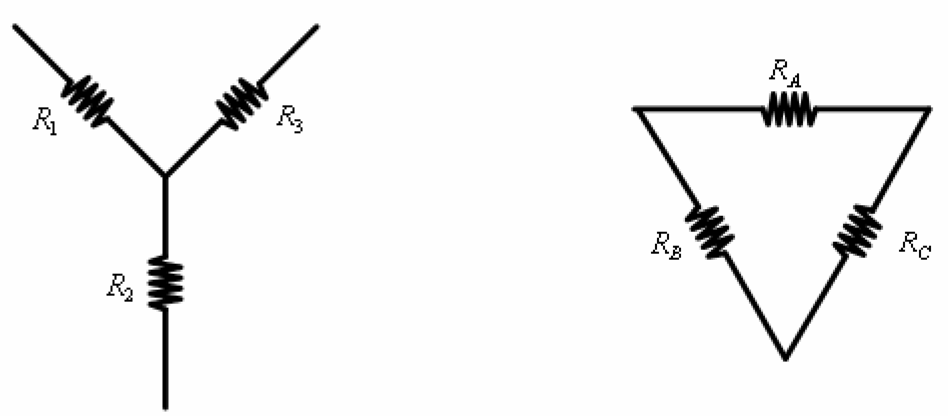
$$\frac{1}{R_C} = -\frac{R_1R_2}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)} + \frac{R_1R_2 + R_1R_3}{R_3(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}.$$

$$\frac{1}{R_C} = \frac{R_1}{(R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3)}$$

$$R_C = \frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_1}$$

Perumusannya :

Transformasi star (Y) ke Delta (Δ) :

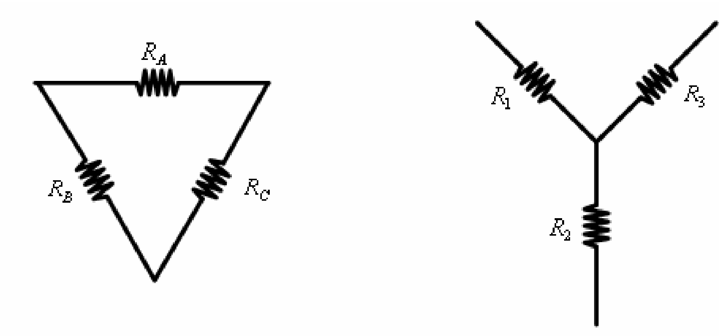


$$R_A = \frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_2}$$

$$R_B = \frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_3}$$

$$R_C = \frac{R_2R_3 + R_1R_2 + R_1R_3}{R_1}$$

Transformasi Delta (Δ) ke star (Y):



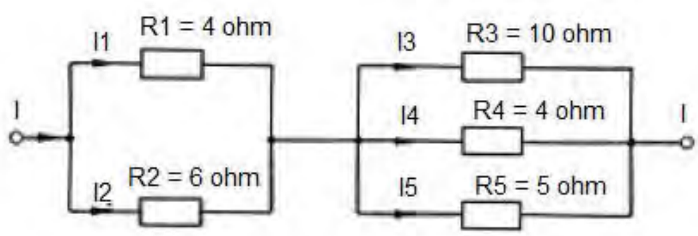
$$R_1 = \frac{R_AR_B}{R_A + R_B + R_C}$$

$$R_2 = \frac{R_BR_C}{R_A + R_B + R_C}$$

$$R_3 = \frac{R_AR_C}{R_A + R_B + R_C}$$

Evaluasi

1. Resistor 1,5Ω dipasang pada baterai 4,5V. Hitung arus yang mengalir ?
2. Resistor 500 Ω dialiri arus 0,2A. Hitung tegangannya ?
3. Tegangan 230V, dipasang beban dan mengalir arus 0,22A. Hitung besarnya resistansi beban ?
4. Lima buah Resistor terhubung seri, yaitu 56 Ω, 100 Ω,27 Ω, 10 Ω dan 5,6 Ω. Hitung besarnya tahanan pengganti (Rp)
5. Tiga buah Resistor terhubung paralel, yaitu 10 Ω, 20 Ω dan 30 Ω. Hitung besarnya tahanan pengganti (Rp)
6. Sumber tegangan DC, dirangkai dengan dua Resistor paralel. Arus cabang-1: 5mA, arus cabang-2 : 12mA. Hitunglah besarnya arus total sumber DC dengan menggunakan hukum Kirchoff arus ?
7. Sumber tegangan DC 12V, dirangkai tiga Resistor paralel *R1=1k* Ω *R2=2,2k* Ω *R3=560* Ω. Hitung besarnya arus cabang masing masing Resistor dan arus total sumber ?
8. Lima buah Resistor R1 =4 Ω, R2 =6 Ω, R3=10 Ω, R4=4 Ω, dan R5=5 Ω *gambar dibawah*, Hitunglah besarnya tahanan pengganti dari kelima tahanan tersebut, menghitung drop tegangan dan besarnya arus cabang?



9. Sumber tegangan DC 12V, dirangkai dengan empat Resistor 10 Ω, 27 Ω, 48 Ω dan X Ω. Hitunglah besarnya Resistor X dengan menggunakan hukum Kirchoff tegangan jika arus yang mengalir 85mA.
10. Sumber tegangan DC 10V, dirangkai tiga Resistor paralel *R1=1,5k* Ω *R2=2,4k* Ω *R3=4,8k* Ω. Hitung besarnya arus cabang masing masing Resistor dan arus total sumber ?

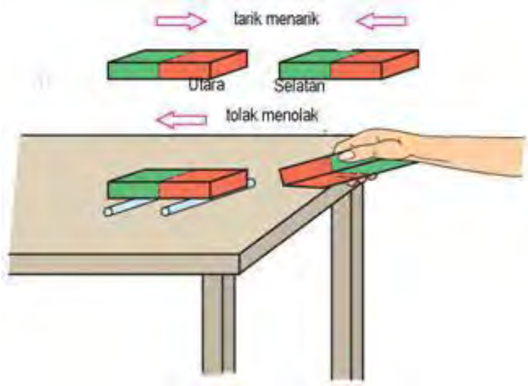
BAB 3
Teori Kemagnetan

Pada suatu hari Anto mendekati bapaknya yang sedang memperbaiki Televisi. Ia memperhatikan bapaknya yang sedang membuka sekrup dengan menggunakan obeng. Ia terheran-heran ternyata sekrup tersebut menempel pada ujung obeng.

Setelah bapaknya selesai membuka seluruh sekrup pada televisi tersebut, anto mengambil obeng yang digunakan bapaknya dan menempelkan ujung obeng tersebut pada sekrup, ternyata sekrup tersebut menempel kembali pada ujung obeng. Anto mencoba menempelkan ujung obeng tersebut pada kancing bajunya yang terbuat dari plastik, ternyata kancing baju tidak menempel pada ujung obeng yang dipegangnya. Anto bertanya pada bapaknya. Pak kenapa sekrup bisa menempel pada ujung obeng ? Bapaknya menjawab bahwa obeng dan sekrup terbuat dari besi. Diskusi Anto dan ibunya hanya bermuara pada bahan yang digunakan untuk obeng dan sekrup. Tentu tidak semua besi bisa menarik benda lain, untuk mengetahui penyebabnya, marilah kita ikuti penjelasan dalam materi pokok berikut.

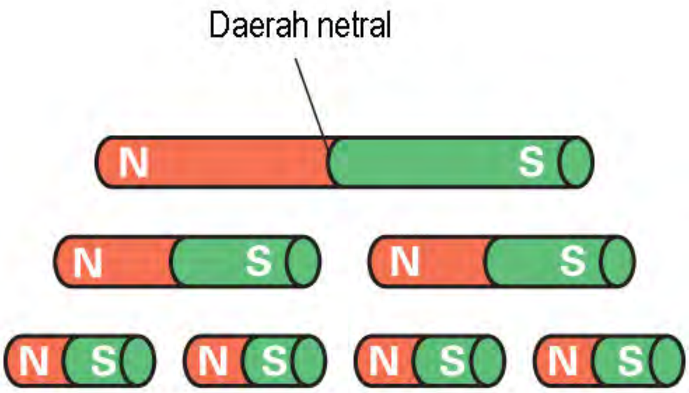
1. Prinsip Kemagnetan

Magnet yang kita lihat sehari-hari jika didekatkan dengan besi, maka besi akan menempel. Magnet memiliki dua kutub, kutub utara dan kutub selatan. Magnet memiliki sifat pada kutub berbeda saat didekatkan akan saling tarik menarik (utara - selatan). Tapi jika kutub berbeda didekatkan akan saling tolak-menolak (utara-utara atau selatan-selatan) gambar 3.1.



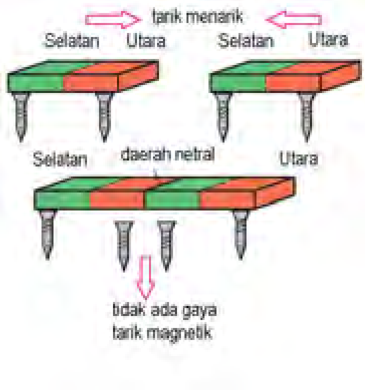
Gambar 3.1 : Sifat magnet saling tarik menarik, tolak-menolak

Batang magnet dibagian tengah antara kutub utara-kutub selatan, disebut bagian netral *gambar 3.2*. Bagian netral magnet artinya tidak memiliki kekuatan magnet. Magnet bisa dalam ujud yang besar, sampai dalam ukuran terkecil sekalipun. Batang magnet panjang, jika dipotong menjadi dua atau dipotong menjadi empat bagian akan membentuk kutub utara-selatan yang baru.



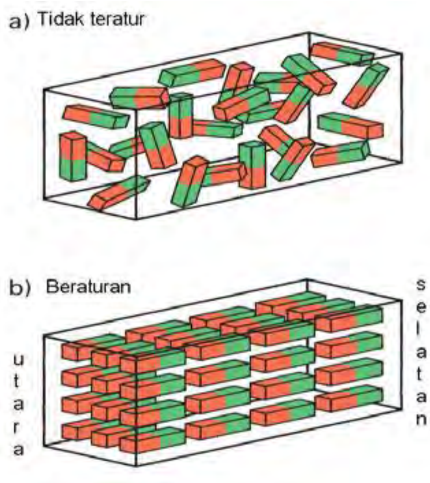
Gambar 3.2 : Kutub utara-selatan magnet permanet

Untuk membuktikan bahwa daerah netral tidak memiliki kekuatan magnet. Ambil beberapa sekrup besi, amatilah tampak sekrup besi akan menempel baik diujung kutub utara maupun ujung kutub selatan *gambar-3.3* Daerah netral dibagian tengah sekrup tidak akan menempel sama sekali, dan sekrup akan terjatuh.



Gambar 3.3 : Daerah netral pada magnet permanet

Mengapa besi biasa berbeda logam magnet ? Pada besi biasa sebenarnya terdapat kumpulan magnet-magnet dalam ukuran mikroskopik, tetapi posisi masing-masing magnet tidak beraturan satu dengan lainnya sehingga saling menghilangkan sifat kemagnetannya *gambar 3.4a.*



Gambar 3.4 : Perbedaan besi biasa dan magnet permanen

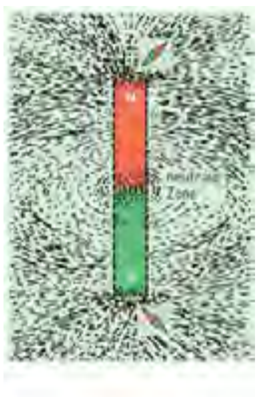
Pada magnet sebenarnya kumpulan jutaan magnet ukuran mikroskopik yang teratur satu dan lainnya *gambar 3.4b.* Kutub utara dan kutub selatan magnet posisinya teratur. Secara keseluruhan kekuatan magnetnya menjadi besar.

Logam besi bisa menjadi magnet secara permanen atau sementara dengan cara induksi elektromagnetik. Tetapi ada beberapa logam yang tidak bisa menjadi magnet, misalnya tembaga, aluminium logam tersebut dinamakan *diamagnetik*

2. Garis Gaya Magnet

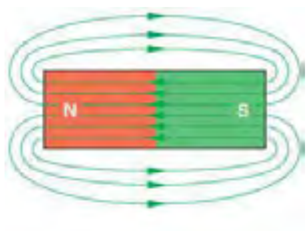
Bumi merupakan magnet alam raksasa, buktinya mengapa kompas menunjukkan arah utara dan selatan bumi kita. Karena sekeliling bumi sebenarnya dilingkupi garis gaya magnet yang tidak tampak oleh mata kita tapi bisa diamati dengan kompas keberadaannya.

Batang magnet memancarkan garis gaya magnet yang melingkupi dengan arah dari utara ke selatan. Pembuktian sederhana dilakukan dengan menempatkan batang magnet diatas selembar kertas. Diatas kertas taburkan serbuk halus besi secara merata, yang terjadi adalah bentuk garis-garis dengan pola pola melengkung oval diujung-ujung kutub *gambar 3.5*. Ujung kutub utara selatan muncul pola garis gaya yang kuat. Daerah netral pola garis gaya magnetnya lemah.



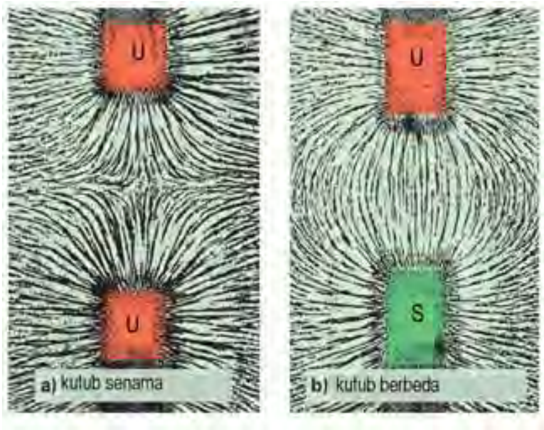
Gambar 3.5 : Pola garis medan magnet permanen

Arah garis gaya magnet dengan pola garis melengkung mengalir dari arah kutub utara menuju kutub selatan *gambar 3.6.* Didalam batang magnet sendiri garis gaya mengalir sebaliknya, yaitu dari kutub selatan ke kutub utara. Didaerah netral tidak ada garis gaya diluar batang magnet.



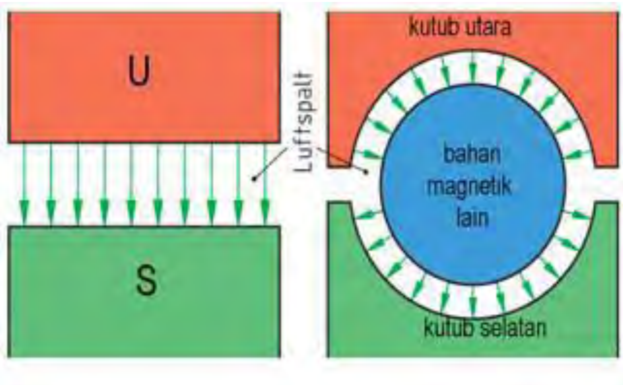
Gambar 3.6 Garis medan magnet utara-selatan

Pembuktian secara visual garis gaya magnet untuk sifat tarik-menarik pada kutub berbeda dan sifat tolak-menolak pada kutub sejenis dengan menggunakan magnet dan serbuk halus besi *gambar 3.7.* Tampak jelas kutub sejenis utara-utara garis gaya saling menolak satu dan lainnya. Pada kutub yang berbeda utara-selatan, garis gaya magnet memiliki pola tarik menarik. Sifat saling tarik menarik dan tolak menolak magnet menjadi dasar bekerjanya motor listrik.



Gambar 3.7 : pola garis medan magnet tolak menolak dan tarik menarik

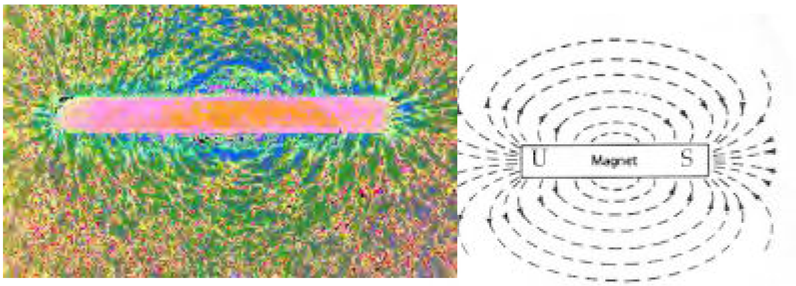
Untuk mendapatkan garis gaya magnet yang merata disetiap titik permukaan maka ada dua bentuk yang mendasari rancangan mesin listrik. Bentuk datar (*flat*) akan menghasilkan garis gaya merata setiap titik permukaannya. Bentuk melingkar *(radial*), juga menghasilkan garis gaya yang merata setiap titik permukaannya *gambar 3.8.*



Gambar 3.8 : Garis gaya magnet pada permukaan rata dan silinder

Meskipun gaya magnet paling kuat terdapat pada kutub-kutub magnet, gaya tersebut tidak terbatas hanya pada kutub. Gaya magnet juga terdapat di sekitar bagian magnet yang lain. Daerah di sekitar magnet tempat gaya magnet bekerja disebut *medan magnet*.

Sangat membantu jika Anda memikirkan medan magnet sebagai suatu daerah yang dilewati oleh garis-garis gaya magnet. Garis gaya magnet menentukan medan magnet sebuah benda. Seperti halnya garis-garis medan listrik, garis-garis gaya magnet dapat digambar untuk memperlihatkan lintasan medan magnet tersebut.

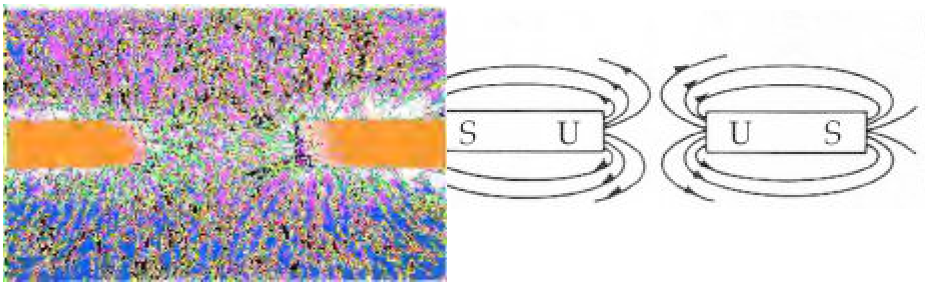


Gambar 3.9 Garis-garis gaya magnet

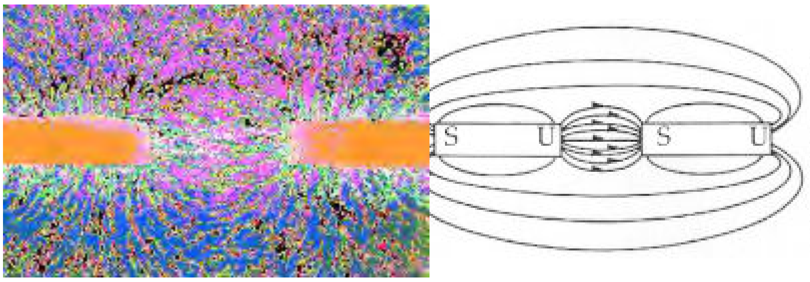
Garis medan magnet berkeliling dalam lintasan tertutup dari kutub utara ke kutub selatan dari sebuah magnet. Suatu medan magnit yang diwakili oleh garis-garis gaya yang terentang dari satu kutub sebuah magnet ke kutub yang lain, merupakan suatu daerah tempat bekerjanya gaya magnet tersebut.

Garis gaya magnet dapat diperlihatkan dengan mudah dengan menaburkan serbuk besi pada selembar kertas yang diletakkan di atas sebuah magnet. Lihatlah *Gambar 3.9*. Di manakah garis gaya magnet selalu ditemukan paling banyak dan paling berdekatan satu sama lain?

Gambar 3.9 memperlihatkan garis-garis gaya yang terdapat di antara kutub-kutub senama dua buah magnet batang. Pola serbuk besi memperlihatkan kutub-kutub senama tolak-menolak. Gambar 3.10 memperlihatkan garis gaya magnet yang terdapat di antara kutub-kutub tak-senama dua buah magnet batang. Pola serbuk besi memperlihatkan kutub-kutub tidak senama tarik menarik.



Gambar 3.9 Kutub senama tolak-menolak



Gambar 3.10 Kutub tidak senama tarik-menarik

3. Bahan Magnetik

Jika kamu mendekatkan sebuah magnet pada sepotong kayu, kaca, alumunium, maupun plastik, apa yang terjadi ? Ya, kamu betul jika kamu mengatakan tidak terjadi apa-apa. Tidak ada pengaruh apapun antara magnet dan bahan-bahan tersebut. Disamping itu, bahan-bahan tersebut tidak dapat dibuat magnet. Tetapi, bahan-bahan seperti besi, baja, nikel, dan kobalt bereaksi dengan cepat terhadap sebuah magnet. Seluruh bahan tersebut dapat dibuat magnet. Mengapa beberapa bahan mempunyai sifat magnetik sedangkan yang lain tidak?

Secara sederhana kita dapat mengelompokkan bahan-bahan menjadi dua kelompok. Pertama adalah bahan magnetik, yaitu bahan-bahan yang dapat ditarik oleh magnet. Kedua adalah bahan bukan magnetik, yaitu bahan-bahan yang tidak dapat ditarik oleh magnet.

Bahan magnetik yang paling kuat disebut bahan *ferromagnetik*.

Nama tersebut berasal dari bahasa Latin *ferrum* yang berarti besi. Bahan ferromagnetik ditarik dengan kuat oleh magnet dan dapat dibuat menjadi magnet. Sebagai contoh, jika Anda mendekatkan sebuah magnet pada sebuah paku besi, magnet akan menarik paku tersebut. Jika Anda menggosok paku dengan magnet beberapa kali dengan arah yang sama, paku itu sendiri akan menjadi sebuah magnet. Paku tersebut akan tetap berupa magnet meskipun magnet yang digunakan menggosok tersebut telah dijauhkan.

Bahan-bahan magnetik tersebut dapat dibagi menjadi dua macam.

Bahan *ferromagnetik*, yaitu bahan yang dapat ditarik oleh magnet dengan kuat. Bahan ini misalnya adalah besi, baja, dan nikel.

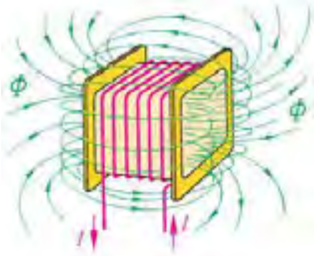
Bahan *paramagnetik*, yaitu benda yang dapat ditarik oleh magnet dengan lemah. Benda-benda ini misalnya adalah aluminium, platina, dan mangan.

Sedangkan bahan yang tidak dapat ditarik oleh magnet digolongkan sebagai bahan *diamagnetik* misalnya bismut, tembaga, seng, emas dan perak.

Beberapa bahan, seperti besi lunak, mudah dibuat menjadi magnet. Tetapi bahan tersebut mudah kehilangan kemagnetannya. Magnet yang dibuat dari bahan besi lunak seperti itu disebut *magnet sementara*. Magnet lain dibuat dari bahan yang sulit dihilangkan kemagnetannya. Magnet demikian disebut *magnet tetap*. Kobalt, nikel, dan besi adalah bahan yang digunakan untuk membuat magnet tetap. Banyak magnet tetap dibuat dari campuran aluminium, nikel, kobalt dan besi.

4. Flux Magnetik (Φ)

Medan magnet tidak bisa kasat mata namun buktinya bisa diamati dengan kompas atau serbuk halus besi. Daerah sekitar yang ditembus oleh garis gaya magnet disebut gaya medan magnetik atau medan magnetik. Jumlah garis gaya dalam medan magnet disebut fluksi magnetik *gambar 3.11.*



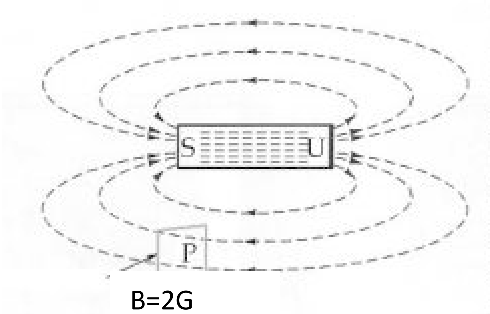
Gambar 3.11 Belitan kawat berinti udara

Menurut satuan internasional besaran fluksi magnetik (Φ) diukur dalam *Weber*, disingkat *Wb* yang didifinisikan : ”*Suatu medan magnet serba sama mempunyai fluksi magnetik sebesar 1 weber bila sebatang penghantar dipotongkan pada garis-garis gaya magnet tsb selama satu detik akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) sebesar satu volt*”.

Weber = Volt x detik

[Φ] = 1 Vdetik = 1 Wb

Garis medan magnit yang dianggap berasal dari kutub utara sebuah magnet disebut flux magnetik. Simbolnya adalah huruf Yunani Φ (phi). Medan magnet yang kuat mempunyai lebih banyak garis gaya dan flux magnetik daripada medan magnet yang lemah.



Gambar 3. 12 Kepadatan flux B pada titik P adalah 2 garis per centimeter persegi atau 2 G

Satu Maxwell (Mx) sama dengan satu garis medan magnet. Pada Gambar 3.12, flux yang digambarkan adalah 6 Mx sebab terdapat 6 garis medan yang keluar maupun masuk ke tiap kutub. Weber adalah satuan flux magnetik yang lebih besar. Satu weber (Wb) sama dengan 1 x 10^8 garis medan atau Maxwell. Karena weber satuan yang besar,

satuan mikro weber dapat digunakan, 1 μWb = 10^{-6}Wb.

Untuk mengubah mikro weber ke garis medan, kalikan dengan faktor konversi 10^8 garis per weber, seperti berikut:

1 μWb = 1 x 10^{-6} Wb x 10^8 garis/Wb

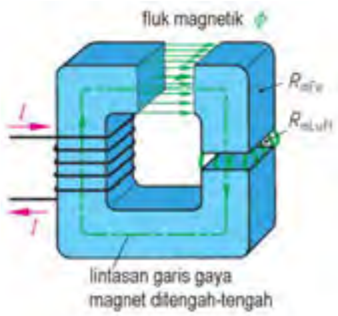
= 1 x 10^2 garis

1 μWb = 100 garis atau Mx

Satuan dasar flux magnetik dapat didefinisikan dalam dua cara., Maxwell adalah satuan cgs, sedangkan weber (Wb) adalah satuan mks atau SI. Untuk bidang sains dan rekayasa, satuan SI lebih disukai daripada satuan cgs, tetapi satuan cgs masih banyak digunakan pada banyak aplikasi praktis.

5. Kerapatan Flux Magnet B

Efektivitas medan magnetik dalam pemakaian sering ditentukan oleh besarnya "*kerapatan fluk magnet*", artinya fluk magnet yang berada pada permukaan yang lebih luas kerapatannya rendah dan intensitas medannya lebih lemah ***gambar 3.13***. Pada permukaan yang lebih sempit kerapatan fluk magnet akan kuat dan intensitas medannya lebih tinggi.



Gambar 3.13 Kerapatan fluk magnet

Kerapatan fluk magnet (B) atau induksi magnetik didefinisikan sebagai fluk persatuan luas penampang. Satuan fluk magnet adalah *Tesla*.

$$B = \frac{\Phi}{A} \qquad [B] = \frac{V.s}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} = T$$

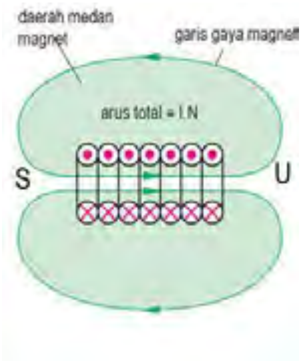
Dimana :

B = Kerapatan medan magnet

Φ = Fluks magnet

A = Penampang inti

Belitan kawat yang dialiri arus listrik DC maka didalam inti belitan akan timbul medan magnet yang mengalir dari kutub utara menuju kutub selatan.



Gambar 3.14 Daerah pengaruh medan magnet

Pengaruh *gaya gerak magnetik* akan melingkupi daerah sekitar belitan yang diberikan warna arsir gambar 3.14. *Gaya gerak magnetik* (Θ) sebanding lurus dengan jumlah belitan (N) dan besarnya arus yang mengalir (I), secara singkat kuat medan magnet sebanding dengan *amper-lilit*.

$$\Theta = I \cdot N$$

Dimana :

Θ = Gaya gerak magnetik

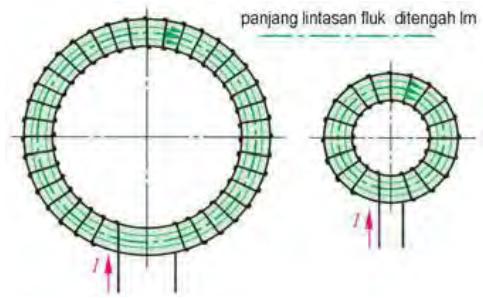
I = Arus mengalir dalam lilitan

N = Jumlah lilitan kawat

6. Kuat Medan Magnet

Dua belitan berbentuk toroida dengan ukuran yang berbeda diameternya gambar 3.15. Belitan toroida yang besar memiliki diameter

lebih besar, sehingga keliling lingkarannya lebih besar. Belitan toroida yang kecil tentunya memiliki keliling lebih kecil. Jika keduanya memiliki belitan (N) yang sama, dan dialirkan arus (I) yang sama maka *gaya gerak magnet* (*Θ = N.I)* juga sama. Yang akan berbeda adalah *kuat medan magnet* (H) dari kedua belitan diatas.



Gambar 3.15 Medan magnet pada toroida

Persamaan kuat medan magnet :

$$H = \frac{\Theta}{l_m} = \frac{I.N}{l_m} \qquad [H] = \frac{A}{m}$$

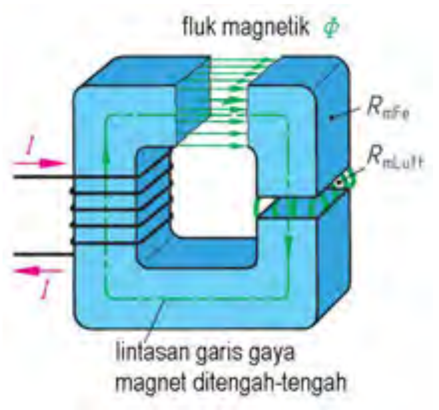
Dimana :

H = Kuat medan magnet
lm = Panjang lintasan
Θ = Gaya gerak magnetik
I = Arus yang mengalir dalam lilitan
N = Jumlah lilitan kawat

7. Rangkaian Magnetik

Rangkaian magnetik terdiri beberapa bahan magnetik yang masing-masing memiliki permeabilitas dan panjang lintasan yang tidak sama. Maka setiap bagian mempunyai reluktansi yang berbeda pula, sehingga reluktansi total adalah jumlah dari reluktansi masing-masing bagian.

Inti besi yang berbentuk mirip huruf C dengan belitan kawat dan mengalir arus listrik I, terdapat celah sempit udara yang dilewati garis gaya magnet *gambar 3.16*. Rangkaian ini memiliki dua reluktansi yaitu reluktnasi besi *RmFe* dan reluktansicelah udara *Rm udara*.



Gambar 3.16 Rangkaian magnetik

Persamaan reluktansi :

$$R_m = \frac{l_m}{\mu . A} = \frac{\Theta}{\Phi} \qquad [R_m] = \frac{A}{Vs}$$

$$R_m = R_{m\,Fe} + R_{m\,Luft}$$

$$\Theta \;= \Theta_{Fe} + \Theta_{Luft}$$

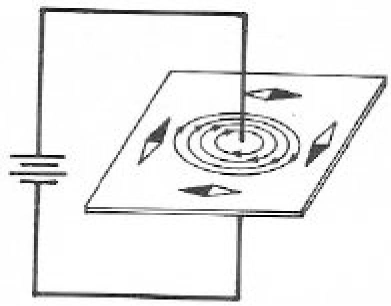
$$\Theta \;= H_{Fe} \,.\, l_{Fe} + H_{Luft} \,.\, l_{Luft}$$

Tabel 3.1 Parameter dan Rumus Kemagneta

Parameter	Simbol	Rumus	Satuan
Gaya gerak magnetik	Θ	$\Theta = I \,.\, N$	*Amper lilit*
Kuat medan magnet	H	$H = \frac{I.N}{lm} = \frac{\Theta}{lm}$	$\frac{A}{m}$ = Wb/A
Fluk Magnet	Φ	$\Phi = B \,.\, A$	Wb = Vs
Kerapatan medan magnet	B	$B = \frac{\Phi}{A} = \mu.H$	$\frac{Wb}{m^2} = \frac{Vs}{m^2}$ =Tesla
Permeabilitas	μ	$\mu = \mu_0 \,.\, \mu_r = \frac{B}{H}$	$\frac{Vs}{Am} = \frac{Wb}{Am} = \frac{\Omega s}{m}$
Permeabilitas hampa	μ_0	$1{,}257 \,.\, 10^{-6}$	$\frac{Vs}{Am} = \frac{Wb}{Am} = \frac{\Omega s}{m}$
Reluktansi	R_m	$R_m = \frac{\Theta}{\Phi} = \frac{l_m}{\mu.A}$	$\frac{A}{Vs} = \frac{A}{Wb} = \frac{1}{\Omega s}$

8. Medan Magnet di Sekitar Arus Listrik

Selama bertahun-tahun Hans Cristian Oersted, seorang guru fisika dari Denmark, mempercayai ada suatu hubungan antara kelistrikan dan kemagnetan, namun dia tidak dapat membuktikan secara eksperimen. Baru pada tahun 1820 dia akhirnya memperoleh bukti.



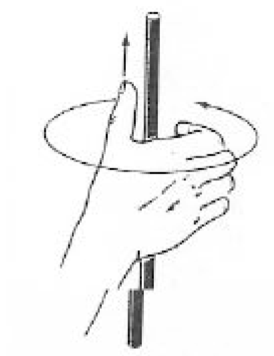
Gambar 3.17 Arus yang mengalir melalui sebuah kawat akan menimbulkan medan magnet

Oersted mengamati bahwa ketika sebuah kompas diletakkan dekat kawat berarus, jarum kompas tersebut menyimpang atau bergerak, segera setelah arus mengalir melalui kawat tersebut. Ketika arah arus tersebut dibalik, jarum kompas tersebut bergerak dengan arah sebaliknya. Jika tidak ada arus listrik mengalir melalui kawat tersebut, jarum kompas tersebut tetap diam. Karena sebuah jarum kompas hanya disimpangkan oleh suatu medan magnet, Oersted menyimpulkan bahwa suatu arus listrik menghasilkan suatu medan magnet.

Lihatlah Gambar 3.17 Ketika kompas-kompas kecil tersebut diletakkan di sekitar penghantar lurus yang tidak dialiri arus listrik, jarum-jarum kompas tersebut sejajar (semuanya menunjuk ke satu arah). Keadaan ini memperlihatkan bahwa jarum kompas tersebut hanya dipengaruhi oleh medan magnet Bumi. Dengan demikian suatu arus listrik yang mengalir melalui sebuah kawat menimbulkan medan magnet yang arahnya bergantung pada arah arus listrik tersebut. Garis gaya magnet yang dihasilkan oleh arus dalam sebuah kawat lurus berbentuk

lingkaran dengan kawat berada di pusat lingkaran.

Kaidah tangan kanan dapat digunakan untuk menentukan arah medan magnet sekitar penghantar lurus yang dialiri arus listrik. Lihatlah Gambar 3.18. Arah ibu jari tangan kanan menunjukkan arah arus listrik. Jari-jari tangan yang melingkari penghantar tersebut menunjukkan arah medan magnet.



Gambar 3.18 Kaidah tangan kanan untuk menentukan arah medan magnet

Dari percobaannya, Oersted menyimpulkan bahwa kerapatan fluk (B) bergantung pada kuat arus dan jarak antara magnet jarum dan kawat berarus listrik. Hal ini juga telah diselidiki lebih jauh oleh Jean Baptiste Biot dan Felix Savart. Dari hasil percobaannya, mereka menyimpulkan bahwa :

a. Di sekitar arus listrik terdapat medan magnet. Ini dapat dideteksi dengan menggunakan serbuk besi yang memerlukan kuat arus yang tinggi, jadi tidak bisa dengan baterai yang kecil.
b. Arah medan magnet (garis-garis gaya magnet) bergantung pada arah arus listrik. Jika arah arus diubah, maka arah medan magnet berubah.
c. Besar medan magnet dipengaruhi oleh kuat arus dan jarak terhadap kawat.

Untuk menentukan arah garisgaris gaya magnet di sekitar penghantar lurus yang dialiri arus listrik agar lebih mudah digunakan kaidah tangan kanan, Jika ibu jari menunjukkan arah arus, maka arah garis gaya magnet dinyatakan oleh jari-jari yang menggenggam.

9. Medan Magnet Sebuah Kumparan

Pengaruh medan magnet yang dihasilkan oleh sebuah penghantar arus terhadap benda yang ada di sekitarnya sangat kecil. Hal ini disebabkan medan magnet yang dihasilkan sangat kecil atau lemah. Agar mendapatkan pengaruh medan yang kuat, penghantar itu harus digulung menjadi sebuah kumparan. Pada kumparan, medan magnet yang ditimbulkan oleh lilitan yang satu diperkuat oleh lilitan yang lain. Apabila kumparan itu panjang disebut **solenoida**.

Apabila di dalam kumparan diberi inti besi lunak maka pengaruh kemagnetannya menjadi jauh lebih besar. Karena kumparan yang dililitkan pada inti besi lunak akan menimbulkan sebuah magnet yang kuat. Pengaruh hubungan antara kuat arus dan medan magnet disebut **elektromagnet** atau **magnet listrik**.

Magnet listrik banyak digunakan dalam bidang teknik, misalnya pembuatan bel listrik, kunci pintu listrik, indikator untuk bahan bakar pada mobil (*fuel level*), kereta cepat tanpa roda, telepon dengan uang logam dan detektor logam.

Keuntungan magnet listrik adalah:

a. Sifat kemagnetannya sangat kuat.
b. Kekuatan magnet itu dapat diubah-ubah dengan mengubah kuat arus.
c. Kemagnetannya dapat dihilangkan dengan memutuskan arus listrik.

Magnet listrik dibuat dalam berbagai bentuk, antara lain: berbentuk huruf U, berbentuk batang, berbentuk silinder, dan lingkaran. Di antara bentukbentuk magnet listrik tersebut yang paling kuat daya tarik magnetnya adalah yang berbentuk U.

10. Aplikasi Kemagnetan dan Elektromagnet

a. Gaya Lorentz

Gaya Lorentz adalah gaya yang terjadi pada sebuah penghantar berarus listrik di dalam medan magnet. Untuk menentukan arah gaya Lorentz dapat digunakan kaidah tangan kanan sebagaimana terlihat

pada Gambar berikut.



Gambar 3.19 Kaidah tangan kanan pada gaya Lorentz

Dengan ketentuan sebagai berikut:

a. Ibu jari menunjukkan arah arus listrik, *I*.

b. Telunjuk menunjukkan arah medan magnet, *B*.

c. Jari tengah menunjukkan arah gaya Lorentz, *F*.

Besar gaya Lorentz sebanding dengan kuat medan magnet, arus listrik, dan panjang kawat. Jika kedudukan gaya, kuat medan magnet dan arus listrik saling tegak lurus, maka besarnya gaya Lorentz dapat dirumuskan:

$$F = B \cdot I \cdot \ell$$

Dengan *F* adalah gaya Lorentz dinyatakan dalam newton, medan magnet dinyatakan dalam satuan (N/Am), (weber/m^2) atau tesla (T), dan ℓ adalah panjang kawat penghantar dinyatakan dalam meter (m).

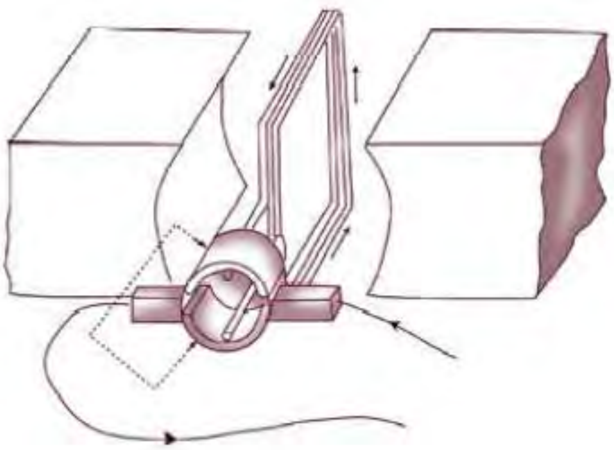
b. Penggunaan Konsep Gaya Lorentz (Gaya Magnet)

Adanya gaya magnet pada penghantar berarus listrik di dalam medan magnet memungkinkan berputarnya kumparan penghantar berarus listrik di dalam medan magnet. Beberapa contoh penerapan konsep ini antara lain motor listrik dan alat ukur listrik.

1) Motor listrik

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi kinetik. Dasar kerja motor listrik ini hampir sama dengan dasar kerja sebuah galvanometer. Apabila arus listrik dialirkan melalui kumparan, permukaan kumparan yang bersifat sebagai kutub utara bergerak menghadap selatan magnet. Permukaan yang bersifat sebagai kutub selatan bergerak menghadap ke kutub utara magnet. Setelah itu maka kumparan berhenti berputar.

Untuk melanjutkan putaran, tepat pada saat kutub kumparan berhadapan dengan kutub magnet, arah arus dalam kumparan dibalik. Dengan terbaliknya arah arus maka kutub utara kumparan berubah menjadi kutub selatan, kutub selatannya menjadi kutub utara. Sekarang kutub utara kumparan berhadapan dengan kutub utara magnet. Kutub selatan kumparan berhadapan dengan kutub selatan magnet. Kutub-kutub itu menolak kumparan berputar setengah putaran sampai kutub utara kumparan berhadapan dengan kutub selatan magnet dan kutub selatan kumparan berhadapan dengan kutub utara magnet, pada saat itu arus dalam kumparan dibalik lagi. Akibat kumparan itu berputar setengah putaran lagi, demikian seterusnya, kumparan berputar terus, lihat Gambar 3.1 berikut !



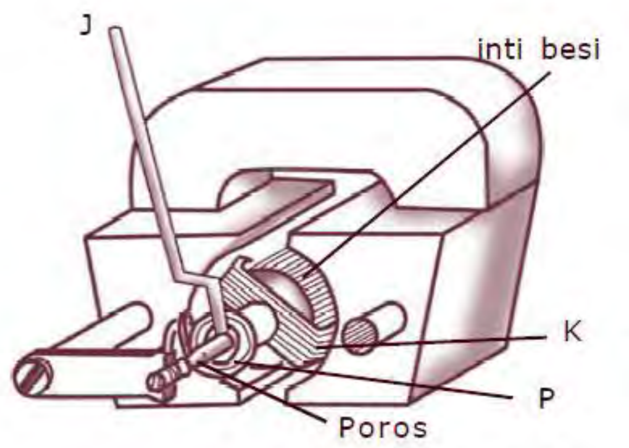
Gambar 3.20 Cara kerja motor listrik

2) Alat pengukur listrik

Jenis alat pengukur listrik yang banyak digunakan adalah pengukur jenis kumparan berputar. Pada dasarnya alat pengukur ini terdiri atas:

1) Sebuah magnet tetap berbentuk U
2) Ruang di antara kutub-kutubnya berbentuk silinder.

Di antara kutub-kutub itu terdapat sebuah inti besi lunak berbentuk silinder. Inti besi ini terpasang tetap pada tempatnya, tidak dapat berputar. Di antara inti besi dan kutub-kutub magnet terdapat sebuah kumparan, K, yang dapat berputar bersama dua batang poros. Pada tiap poros itu dipasang sebuah pegas spiral.



Gambar 3.21 Pengukur jenis kumparan berputar

Pegas spiral, P, ini mengatur agar jarum penunjuk, J menunjukkan angka nol, kalau tidak ada arus melalui K.

Apabila kumparan dialirkan arus, maka kumparan itu berputar sebab salah satu permukaan kumparan bersifat sebagai kutub utara dan sebagai kutub selatan. Kumparan tidak dapat berputar terus karena ditahan oleh pegas spiral. Besar putarannya tergantung pada besarnya arus, di mana makin besar arus makin besar sudut putarnya.

Prinsip kerja seperti ini banyak digunakan pada peralatan seperti: amperemeter, galvanometer, dan voltmeter.

c. Peralatan yang Menggunakan Prinsip Elektromagnetik

Banyak alat-alat listrik yang bekerjanya atas dasar kemagnetan listrik. Misalnya bel listrik, telepon, telegraf, alat penyambung atau relai, kunci pintu listrik, detektor logam dan *loudspeaker*. Alat-alat ukur seperti amperemeter, voltmeter dan galvanometer dapat dijelaskan dengan prinsip kemagnetan listrik.

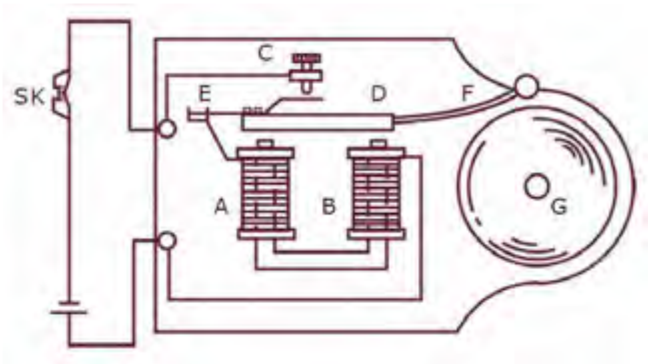
1) Bel Listrik

Bagian-bagian utama bel listrik :

d. Sebuah magnet listrik (A dan B), berupa magnet listrik berbentuk U

e. Pemutusan arus atau interuptor: C

f. Sebuah pelat besi lunak: D yang dihubungkan dengan pegas E dan pemukul bel; F (lihat Gambar 3.13)!



Gambar 3.22 Prinsip bel listrik

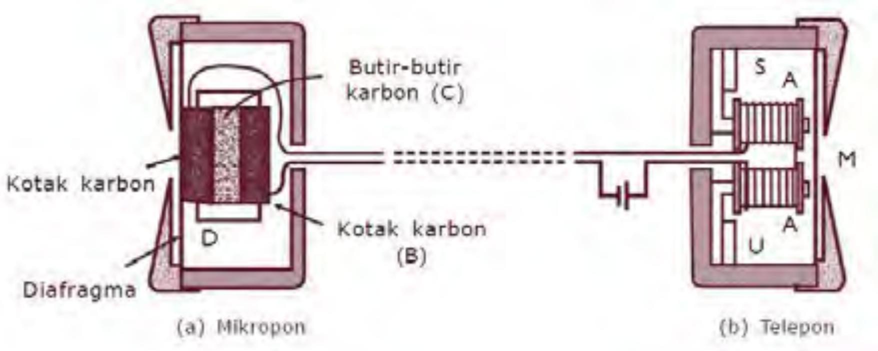
Cara kerja bel listrik :

Apabila arus listrik dialirkan dengan jalan menekan sakelar, SK, maka arus listrik mengalir melalui kumparan. A dan B menjadi magnet, dan menarik D. Oleh karena itu arus yang melalui titik C terputus, sehingga sifat kemagnetannya hilang. D terlepas dari tarikan AB. Kontak C tersambung lagi, dan arus mengalir lagi. A dan B menjadi magnet lagi, menarik D demikian seterusnya berulang-ulang. Selama SK ditekan. Tiap kali D ditarik oleh AB, maka pemukul F memukul bel G, maka bel berbunyi.

2) **Pesawat Telepon**

Sebuah pesawat telepon pada dasarnya terdiri atas dua bagian utama yaitu:

a. pesawat pengirim, yang biasa disebut mikrofon
b. pesawat penerima, biasanya disebut telepon.



Gambar 3.23 Pesawat telepon dan dasar kerjanya

Lihat Gambar (a) di atas ! Perhatikan prinsip-prinsip yang mendasar pada sebuah mikrofon. Sebuah pelat tipis yang disebut diafragma D, selalu bersentuhan dengan butir-butir karbon, C, yang terdapat di dalam kotak karbon, B, jika getaran suara jatuh ke permukaan diafragma maka diafragma itu bergetar. Getaran ini menyebabkan butir-butir karbon tertekan atau tidak tertekan. Pada waktu tertekan, hambatan butir-butir karbon itu kecil, begitu sebaliknya jika tidak tertekan, hambatannya besar. Karena getaran diafragma dan hambatan C berubah-ubah sesuai dengan getaran suara. Arus yang mengalirpun berubah-ubah sampai ke telepon. Arus yang berubah-ubah menjadi suara.

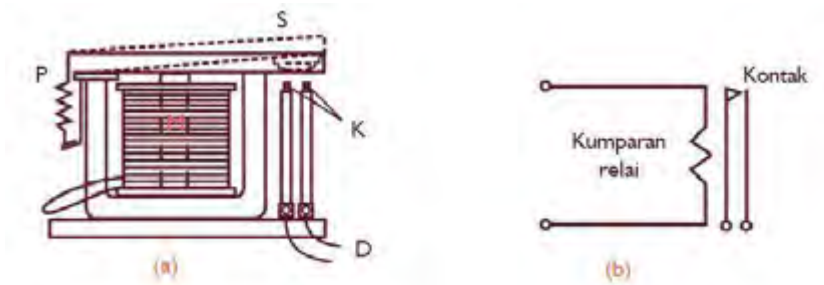
Gambar (b) di atas ! memperlihatkan dasar kerja pesawat telepon. Telepon terdiri atas sebuah diafragma, M, sebuah magnet listrik, A–A, dan magnet tetap US. Magnet tetap selalu memagnetkan inti magnet listrik. Karena itu diafragma yang terbuat dari bahan, ditarik oleh magnet, selalu tertarik ke arah AA dan dalam bentuk agak cekung ke arah AA. Jika arus yang datang melalui kumparan magnet listrik itu berubah-ubah besarnya. Maka kekuatan magnet listrik berubah-ubah juga. Perubahan gaya tarik sesuai dengan getaran suara yang dikirim oleh mikrofon. Perubahan gaya

tarik menyebabkan diafragma bergetar sesuai dengan getaran suara pengirim.

3) Relai

Relai adalah sebuah alat yang dapat menghubungkan atau memutuskan arus yang besar meskipun dengan energi kecil. Bagian utama sebuah relai yaitu:

a. Magnet listrik (M)
b. Sauh (S)
c. Kontak (K)
d. Pegas (P)



Gambar 3.24 Relai dan skemanya

Cara Kerja Relai

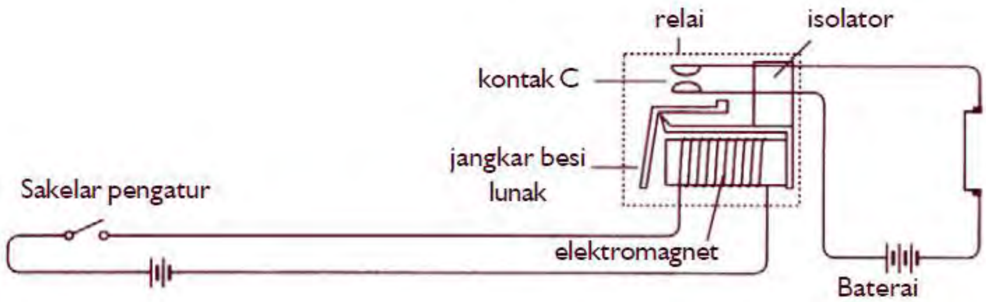
Apabila arus mengalir melalui kumparan, M, maka sauh ditarik oleh M, sehingga kontak K bersentuhan. Arus yang mengalir melalui kumparan disebut arus primer. Arus yang dialirkan oleh kontak disebut arus sekunder. Jika arus primer tidak mengalir, maka sauh tertarik oleh pegas, kontak terputus. Skema relai ditunjukkan pada Gambar b di atas.

Relai banyak digunakan dalam bidang teknik untuk mengatur suatu alat dari jarak jauh, misalnya pada motor listrik.

Motor listrik dihubungkan dan diputuskan dengan cara menutup dan membuka sakelar S. Ketika S ditutup, arus listrik kecil mengalir melalui elektromagnet, ujung kiri elektromagnet menarik jangkar besi lunak yang berbentuk L. Pergerakan ini menyebabkan jangkar besi lunak

menekan kontak C yang berada di bawah sehingga naik ke atas dan terhubung. Dengan terhubungnya kontak C, maka baterai terhubung ke motor listrik, dan arus listrik mengalir ke dalam motor listrik. Ketika sakelar S dibuka, arus listrik yang melalui elektromagnet terputus, kontak C terbuka dan motor berhenti berputar.

Perhatikan Gambar 3.16 berikut. Ada dua rangkaian terpisah dan kontak relai C terbuka. Dengan menutup sakelar S di rangkaian sebelah kiri, kontak C akan menutup dan menghubungkan rangkaian di sebelah kanan. Satu keuntungan dari sistem ini adalah sakelar-sakelar dan kabel-kabel penerangan yang hanya sesuai untuk arus kecil dapat dipakai untuk mengatur mesin-mesin listrik yang berarus besar, misalnya pada dinamo starter mobil.



Gambar 3.25 Relai magnetik pada motor listrik

Evaluasi

1. Jelaskan mengapa magnet memiliki sifat menarik besi, sedangkan logam non besi seperti aluminium dan tembaga tidak dipengaruhi magnet.
2. Magnet memiliki sifat tarik menarik dan tolak-menolak, kapan kedua sifat tersebut terjadi. Peragakan dengan menggunakan model kutub utara dan kutub selatan.
3. Besi biasa dapat dijadikan magnet dengan menggunakan prinsip elektro magnetic, jelaskan bagaimana membuat elektromagnetik dengan sumber tegangan DC dari akumulator 12 Volt.
4. Gambarkan rangkaian Bel Listrik dengan sumber listrik DC 12 Volt, dan terangkan cara kerjanya.
5. Bagaimana cara menentukan kutub utara dan selatan magnet permanen dengan bantuan sebuah kompas, jelaskan dengan gambar.
6. Belitan kawat yang dialiri arus listrik DC akan menghasilkan garis gaya magnet. Peragakan dengan menggunakan tangan kanan, tentukan arah belitan kawat, arah aliran arus DC dan tentukan garis gaya magnet yang dihasilkan.
7. Belitan kawat sebanyak 1000 lilit, dialiri arus 4 A. Hitunglah a) gaya gerak magnetiknya b) jika kasus a) dipakai 2000 lilit berapa besarnya arus ?
8. Kumparan toroida dengan 1000 belitan kawat, panjang lintasan magnet 30cm, arus yang mengalir sebesar 200mA. Hitung besarnya kuat medan magnetiknya
9. Belitan kawat bentuk inti persegi 40mm x 25mm, menghasilkan kuat medan magnet sebesar 1,0 Tesla. Hitung besar fluk magnetnya.
10. Belitan kawat rongga udara memiliki kerapatan 1.000 A/m, Hitung besar fluk magnetnya, bila diketahui μ_0 = 1,257 . 10-6 Wb/Am.

11. Besi toroid mempunyai keliling 0,4 meter dan luas penampang 1 cm2. Toroida dililitkan kawat 800 belitan dialiri arus sebesar 100mA. Agar diperoleh fluk mahnet sebesar 80 μWb pada toroida tsb. Hitung a) kuat medan magnet b) kerapatan fluk magnet c) permeabilitas absolut dan d) permeabiltas relatif besi.
12. Berdasarkan luas penampang inti 80 cm2 dan fluk magnetnya 10 mWb. Panjang lintasan inti besi 150 cm, jarak celah udara 5 mm. Hitung a) kerapatan fluk magnet pada inti besi dan tentukan besarnya gaya gerak magnet. b) Hitung besarnya gaya gerak magnet total
13. Peragakan didepan kelas prinsip tangan kanan Flemming, untuk menunjukkan prinsip kerja generator. Tunjukkan arah gerakan kawat, arah medan magnet yang memotong kawat dan tunjukkan arah gaya gerak listrik yang dihasilkan.
14. Peragakan didepan kelas dengan prinsip tangan kiri Flemming untuk menunjukkan cara kerja Motor Listrik. Tunjukkan arah garis medan magnet, arah aliran arus listrik DC dan arah torsi putar yang dihasilkan.

BAB 4
Resistor

Sekarang kalian telah menjadi peserta didik SMK bidang Keahlian Instrumentasi Industri.

Sekarang kalian akan mempelajari tentang PKDLE (Pengenalan Konsep Dasar Listrik dan Elektronika) pada mata pelajaran Teknik Kelistrikan dan Elektronika Instrumentasi. PKDLE adalah ilmu yang mempelajari tentang beberapa komponen elektronika dan kelistrikan baik komponen pasif maupun komponen aktif yang ada ada di dunia instrumentasi.

Para ilmuwan atau *scientist* mempelajari apa yang terjadi di sekitar kita dengan melakukan serangkaian penelitian dengan sangat cermat dan hati-hati. Dengan cara itu, mereka dapat menjelaskan apa dan mengapa sesuatu dapat terjadi serta memperkirakan sesuatu yang terjadi saat ini maupun yang akan datang terhadap alam sekitar. Hasil-hasil temuan mereka dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan atau kepentingan dan kesejahteraan hidup manusia, seperti mulai dari pesawat radio, televisi, komputer, peralatan-peralatan industri dan sebagainya.

Pada bab ini, kalian akan mempelajari komponen-komponen pasif dan aktif elektronika, bagaimana melakukan pengamatan, serta mempelajari pengukuran terhadap nilai-nilai atau harga dari pengamatan tersebut. Langkah awal untuk mempelajari komponen pasif tersebut adalah **resistor,** yaitu dengan melakukan pengamatan **(observasi).**

Berikut terdapat beberapa gambar, coba kalian perhatikan apa makna dari gambar-gambar tersebut



Gambar 4.1 Ilustrasi sebuah resistor

Sebagai permulaan, lakukan kegiatan berikut untuk melatih pengamatan dan mengeksplorasi terhadap komponen pasif (resistor) tersebut di dalam kejadian-kejadian di sekitarmu

1. Diskusikan dan buat kesepakatan dengan satu kelompokmu, siapa yang akan mencoba mendefinisikan pengertian resistor lalu pikirkan dan deskripsikan tentang resistor di dalam kejadian sehari-hari.
2. Berikan contoh dari kejadian sehari-hari tersebut !
3. Tuliskan hasil pemikiran tersebut sebagai catata awal yang kalian peroleh dan bandingkan dengan definisi resistor sebenarnya yang akan kalian dapatkan !
4. Bandingkan dan simpulkan hasil beberapa pendapat teman-teman satu kelompokmu tentang resistor tersebut dan simpulkan menjadi suatu definisi !
5. Presentasikan hasil kegiatan masing-masing kelompokmu di depan kelas !
6. Carilah materi tentang resistor dari beberapa literatur atau internet, tentang ;

1. Tahanan Jenis dan Pengaruh suhu pada hambatan kawat
2. Hantar Jenis
3. Resistor tetap
4. Resistor Variabel
5. Kode warna dan huruf pada resistor
6. Resistor KSN (koefisien suhu negatif)
7. Resistor LDR (light dependent resistor = resistor yang tergantung cahaya)
8. Resistor VDR (Voltage dependent resistor)

Buatlah hasil temuannya ke dalam bentuk laporan atau sejenisnya kemudian presentasikan menurut kelompoknya masing-masing (sesuai jadual yang telah ditentukan).

Sebelum melakukan pengamatan dari beberapa percobaan mengenai resistor , coba kalian ingat kembali melalui pembahasan materi yang sudah kalian peroleh dan dapatkan selanjutnya kalian eksperimenkan percobaan-percobaan berikut

1. Resistor

Tugas 1

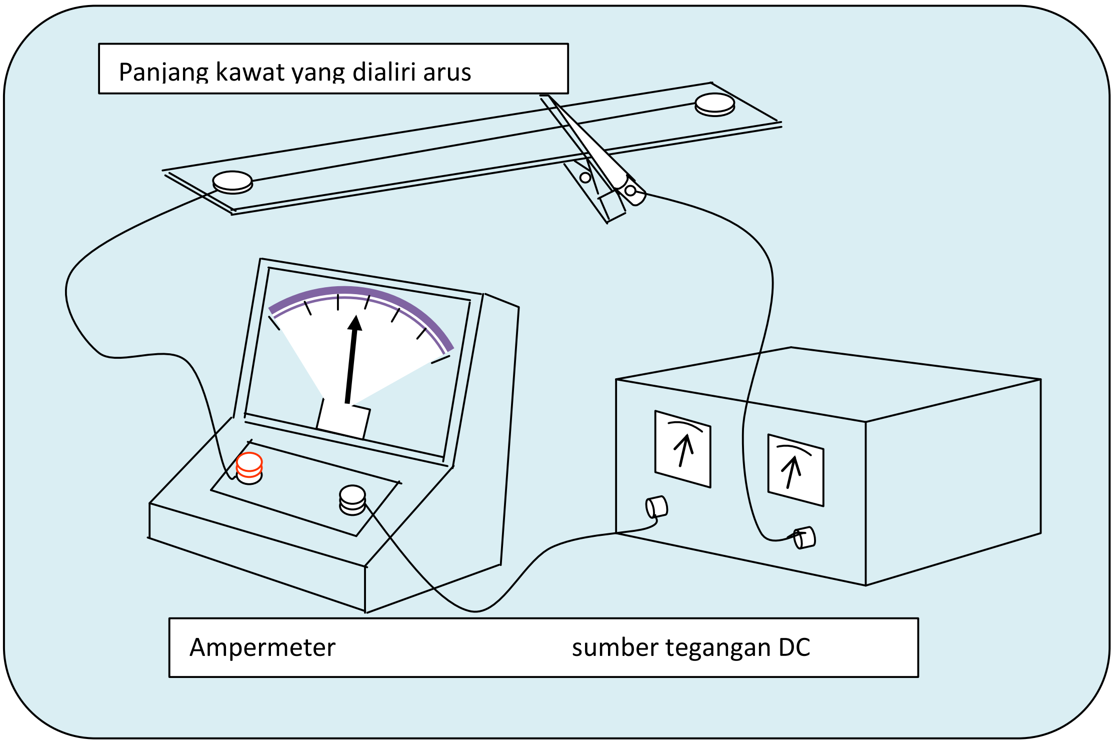
Pernahkah kalian melihat suatu kejadian atau mengalami kejadian sebuah kawat penghantar yang terbakar dalam suatu rangkaian listrik atau kabel yang terbakar pada kendaraan ?, coba diskusikan bersama kelompokmu, kira-kira apa yang menyebabkan kawat atau kabel tersebut terbakar !

Pendekatan teori

Dengan pendekatan teori, bisakah kalian menjawab pertanyaan atau permasalahan di atas melalui pembuktian-pembuktian dengan menggunakan formulasi-formulasi yang relevan yang kalian dapatkan ? diskusikanlah bersama teman-temanmu.

Apa yang kalian ketahui tentang hubungan hambatan kawat dengan panjang dan luas penampang ?

- Bersama kelompokmu buatlah rangkaian seperti pada gambar dibawah berikut dan buat urutan langkah-langkahnya
- Apa maksud gambar tersebut ? jelaskan pula bersama teman-teman sekelompokmu .... !
- Hati-hati didalam melakukan pengawatan, hindari terbaliknya polaritas untuk mencegah agar amper meter tidak rusak,
- Lakukan percobaannya sesuai dengan urutan langka-langkah yang kalian buat
- Masukan hasil data pengamatan kedalam tabel



Panjang kawat	Tegangan (V) Volt	Kuat arus (I) Amper	Hambatan (R) Ohm
L			
2L			
3L			
4L			

Diskusikan !

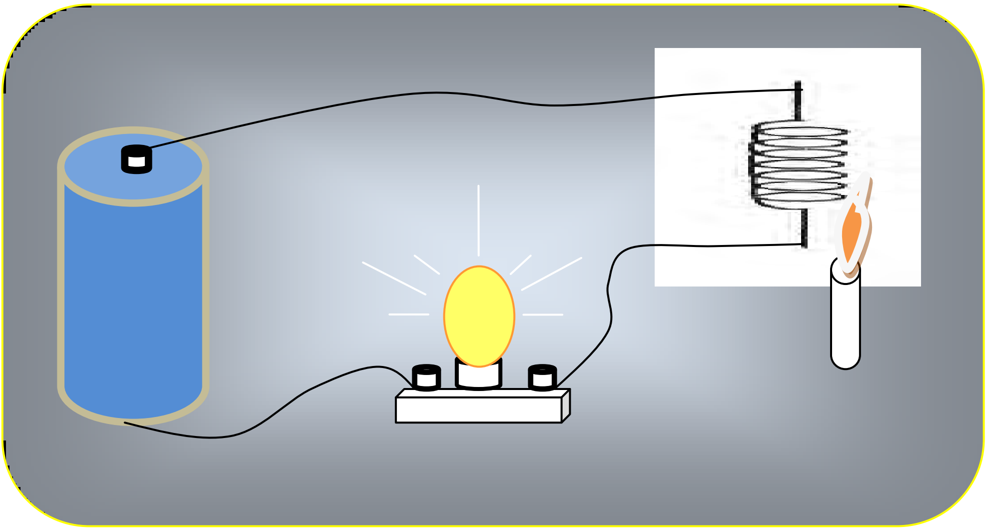
- **Temuan apa yang dapat kalian peroleh dari hasil percobaan tersebut !...... tulis ke dalam bentuk laporan**

Pengaruh suhu pada hambatan kawat

Tugas 2

Untuk mengamati pengaruh suhu pada hambatan kawat (dibentuk kumparan), lakukan percobaan sebagai berikut :

Siapkan kawat baja sepanjang 2 m dan bentuklah menjadi suatu kumparan kecil dengan lilitan-lilitan kumparan tidak saling menyentuh satu sama lain
Hubungkan pada battery 1,5 volt dan sebuah lampu pijar hingga membentuk sebuah rangkaian lampu menyala kemudian panasi kawat berbentuk kumparan tadi dengan api (pemanas) seperti pada gambar berikut :



Coba kalian simpulkan dan pengetahuan apa yg kalian peroleh dari hasil percobaan tersebut !. Tulis ke dalam bentuk laporan

Selanjutnya dengan beberapa percobaan :

Sebuah lampu pijar dihubungkan ke sumber tegangan berturut-turut melalui bermacam-macam bahan penghantar (tembaga, arang, konstantan). Setiap penghantar dipanasi

Coba kalian bandingkan cahaya lampu sebelum dan setelah pemanasan !

Untuk dipelajari !!

- Bahan yang dalam kondisi dingin menghantarkan arus dengan lebih baik dari pada dalam kondisi panas, disebut *penghantar dingin.* Termasuk kelompok ini yaitu praktis semua logam murni dan beberapa bahan semi penghantar.

Bahan yang dalam kondisi panas menghantarkan arus dengan lebih baik dari pada dalam kondisi dingin, disebut *penghantar panas.* Termasuk disini yaitu arang, sebagian besar bahan semi penghantar dan oksida logam tertentu.

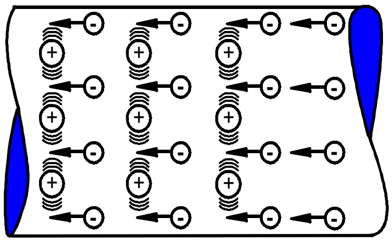
Sebagian logam pada pendinginan mendekati titik nol absolut (-273,2 ^{O}C) tahanannya menghilang dengan sangat tiba-tiba yaitu praktis pada nilai nol. Maka bahan seperti ini menghantarkan arus dengan "sangat baik". Oleh karena itu disebut *penghantar super* (super conductor). Termasuk dalam kelompok ini yaitu alumunium, tin (timah), timbel (timah hitam), air raksa, niob (columbium).

Perlu diperhatikan, bahwa untuk perbedaan temperatur menggunakan satuan Kelvin (K) dan tidak lagi derajat Celsius (^{O}C). Ini tidak menimbulkan kesulitan, karena perbedaan temperatur 1^{O}C sama dengan perbedaan temperatur 1 K. Sejalan dengan hal tersebut satuan ^{O}C untuk menyatakan temperatur dapat terus digunakan.

Contoh :

1. Temperatur penghantar tembaga berubah sekitar 20 K (bukan 20 ^{O}C).
2. Temperatur lilitan motor sebesar 20 ^{O}C. Untuk ini dapat juga dikatakan : 293 K, disini 0 ^{O}C senilai dengan 273 K atau 0 K sesuai dengan -273 ^{O}C.

Reaksi penghantar dingin dapat diterangkan, bahwa pada asutan panas yang lebih kuat atas atom-atom didalam kisi-kisi kristal, lebih besar pula tumbukan elektron-elektron yang bergerak dengan atom-atom (ion-ion atom) sehingga memberikan tahanan yang lebih besar. (gambar 1.33)



Gambar 4.1 Tahanan pada penghantar logam yang dipanaskan

Reaksi penghantar panas berdasarkan, bahwasanya pada pemanasan elektron-elektron ekstra (tambahan) menjadi bebas dan tergabung pada gerakan yang terarah. Hal ini berarti pengurangan tahanan.

Pada konstantan melalui pemanasan seperti pada penghantar dingin terjadi suatu pengereman pembawa muatan, tetapi seperti juga pada penghantar panas, elektron-elektron ekstra menjadi bebas. Kedua reaksi tersebut cukup saling menetralisir.

Perubahan tahanan melalui pemanasan untuk masing-masing bahan berbeda. Karakteristik bermacam-macam bahan ditetapkan melalui *koefisien temperatur.*

Simbol : α (alpha)

Satuan : $\frac{1}{K}$

Koefisien temperatur α menunjukkan perubahan tahanan untuk tahanan sebesar 1Ω pada pemanasan 1 K.

Pada perhitungan sering digunakan koefisien temperatur dalam $\frac{\%}{K}$.

Bahan yang pada pemanasan nilai tahanannya berkurang, mempunyai koefisien temperatur negatip.

Beberapa contoh koefisien temperatur (berlaku untuk perubahan temperatur mulai dari suhu 20 ^{O}C) sbb :

Tembaga $\alpha = 0{,}0039 \frac{1}{K} = 0{,}39 \frac{\%}{K}$

Alumunium $\alpha = 0{,}0037 \frac{1}{K} = 0{,}37 \frac{\%}{K}$

Wolfram $\alpha = 0{,}0041 \frac{1}{K} = 0{,}41 \frac{\%}{K}$

Nikelin $\alpha = 0{,}00023 \frac{1}{K} = 0{,}023 \frac{\%}{K}$

Mangan $\alpha = \pm 0{,}00001 \frac{1}{K} = \pm 0{,}001 \frac{\%}{K}$

Konstantan $\alpha = -0{,}00003 \frac{1}{K} = -0{,}003 \frac{\%}{K}$

Karbon murni $\alpha = -0{,}00045 \frac{1}{K} = -0{,}045 \frac{\%}{K}$

Pada logam murni (tembaga, alumunium, wolfram) besarnya koefisien temperatur kira-kira 0,4 $\frac{\%}{K}$, artinya setiap K kenaikan temperatur tahanannya bertambah 0,4 %

Menunjuk pada lampu pijar, yang didalamnya menggunakan kawat wolfram, dalam operasionalnya merupakan suatu tahanan panas, yang bisa mencapai 15 kali lebih besar dari pada tahanan dingin (pada kondisi dingin).

Pada logam campuran tertentu (nikelin, manganin, konstantan) koefisien temperaturnya sangat kecil. Bahan ini sangat cocok untuk tahanan alat ukur.

Perubahan tahanan ΔR (baca: delta R) suatu penghantar untuk :

tahanan 1Ω dan perubahan temperatur 1K besarnya $\Delta R = \alpha$ Ohm

tahanan 1Ω dan perubahan temperatur 2K besarnya $\Delta R = 2 . \alpha$ Ohm

tahanan 1Ω dan perubahan temperatur $\Delta\vartheta$K besarnya $\Delta R = \alpha . \Delta\vartheta$ Ohm

tahanan RΩ dan perubahan temperatur $\Delta\vartheta$K besarnya $\Delta R = \alpha . \Delta\vartheta . R$ Ohm

Δ (baca: delta) adalah suatu huruf Yunani dan digunakan disini sebagai simbol formula untuk perbedaan.

ϑ (baca: theta) adalah juga suatu huruf Yunani dan digunakan disini sebagai simbol formula untuk temperatur.

Dengan demikian berlaku :

Perubahan tahanan ; $\Delta R = \alpha . \Delta\vartheta . R_d$

Dimana : ΔR = perubahan tahanan dalam Ω

Rd = tahanan dingi pada 20° C dalam Ω

α = koofesien temperatur dal;am 1/°K

$\Delta\vartheta$ = kenaikan temperatur pada °K

Tahanan panas yang baru R_p terdiri atas tahanan dingin R_d dan perubahan tahanan ΔR.

$$R_p = R_d + \Delta R$$

Tahanan panas R_p tahanan panas dalam

$$R_p = R_d + \alpha \cdot \Delta\vartheta \cdot R_d$$

Melalui penjabaran formula diperoleh :

Kenaikan temperatur :

$$\Delta\vartheta = \frac{Rp - Rd}{\alpha . Rd}$$

Persamaan tersebut diatas berlaku untuk kenaikan temperatur hingga kira-kira 200 ^oC. Pada kenaikan temperatur yang melebihi 200 ^oC, harus diperhatikan faktor-faktor lainnya.

Pemakaian perubahan tahanan ditemukan pada penyelidikan pemanasan lilitan termasuk juga untuk tujuan pengukuran dan pengaturan.

Kerjakan soal berikut :

1. Lilitan tembaga suatu mesin pada suhu 20 ^oC terukur tahan-annya serbesar 30 Ω. Selama beroperasi temperatur tahan-annya naik menjadi 80 ^oC. Berapa sekarang besarnya tahanan kumparan ?
2. Suatu penghantar dengan luas penampang 10 mm2. Berapa besarnya tahanan untuk panjang 500 m, jika digunakan penghantar

   a. Tembaga

   b. Alumunium

   Diketahui : A = 10 mm2

   ℓ= 500 m

   Hitunglah : Rcu , Ral
3. Berapa nilai hambatan kawat apabila seutas kawat panjangnya 100 m, diameter 2 mm, dan hambatan jenis 6,28 x10^{-8} Ω meter ?
4. Sebuah lampu pijar yang filamennya dari tungsten memiliki hambatan 240 Ω ketika berpijar putih (kira-kira 1800 ^oC). Tentukan hambatan lampu pijar pada suhu ruang $20\ ^oC$.
5. Berapa besarnya daya hantar untuk tahanan : 5 Ω ; 0,2 Ω ; 100 Ω ?

6. Berapa besarnya hantar jenis perak, tembaga dan alumunium jika sebagai tahanan jenis berturut-turut terdapat nilai sbb. :

   tembaga = 0,0178 . Ω mm2/m.

   alumunium = 0,0278. Ω mm2/m.

   Perak = 0,016 . Ω mm2/m.

7. Didalam kumparan kawat alumunium dengan luas penampang 0,5 mm2, rapat arus yang diijinkan adalah sebesar 2 A/mm2. Berapa besarnya arus operasional yang diperbolehkan ?
8. Apa yang dimaksud dengan tahanan listrik ?
9. Bagaimana simbol formula dan satuan untuk tahanan listrik ?
10. Kapan sebuah penghantar mempunyai tahanan 1
11. Apa yang dimaksud dengan tahanan jenis ?
12. Bagaimana satuan tahanan jenis ?
13. Bagaimana perubahan tahanan suatu penghantar, jika a) luas penampang menjadi setengahnya, b) panjangnya tiga kali lipat, c) bahannya semula tembaga diganti dengan alumunium ?
14. Coba jabarkan asal mula satuan tahanan jenis !
15. Bagaimana hubungan antara daya hantar dan tahanan ?
16. Bagaimana simbol formula dan satuan untuk daya hantar listrik ?
17. Bagaimana hantar jenis dapat ditentukan dari tahanan jenis yang sudah diketahui ?
18. Berapa besarnya 0,05 MΩ; 2,5 kΩ; 450 mΩ ?
19. Berapa besarnya tahanan suatu untaian tembaga panjang 5 m dengan luas penampang 0,8 mm2 ?
20. Berapa besarnya tahanan suatu baja elektroda pentanahan yang panjangnya 150m, lebar 30 mm dan tebal 3 mm ?
21. Berapa meter panjang kawat nikelin (ρ = 0,4 Ω.mm2/m) dengan diameter 0,6 mm yang digunakan untuk membuat suatu tahanan sebesar 90 Ω?
22. Berapa luas penampang harus dipilih untuk penghantar tembaga yang panjangnya 22,4 m (pergi dan pulang), jika tahanan maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,0665Ω

Tugas 3

Kalian sudah mendapatkan teori-teori tentang resistor melalui literatur-literatur yang kalian dapatkan dan dari internet yang kalian cari, coba jelaskan kembali definisi dari resistor !

Pengayaan

Resistor disebut juga dengan tahanan atau hambatan, berfungsi untuk menghambat arus listrik yang melewatinya. Semakin besar nilai resistansi sebuah resistor yang dipasang, semakin kecil arus yang mengalir.

Satuan nilai resistansi suatu resistor adalah Ohm (Ω) diberi lambang huruf R.

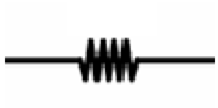
Ada dua macam resistor yang dipakai pada teknik listrik dan elektronika, yaitu resistor tetap dan resistor variable.

Resistor tetap adalah resistor yang mempunyai nilai hambatan yang tetap. Biasanya terbuat dari karbon, kawat atau paduan logam. Sebuah hambatan karbon dibentuk oleh pipa keramik dengan karbonnya diuapkan. Biasanya pada kedua ujungnya dipasang tutup, dimana kawat-kawat penghubungnya dipasang. Nilai hambatannya ditentukan oleh tebalnya dan panjangnya lintasan karbon. Panjang lintasan karbon tergantung dari kisarnya alur yang berbentuk spiral. Bentuk resistor karbon yang diuapkan aksial dan radial dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 4.2 Hambatan Karbon yang diuapkan Aksial dan Radial

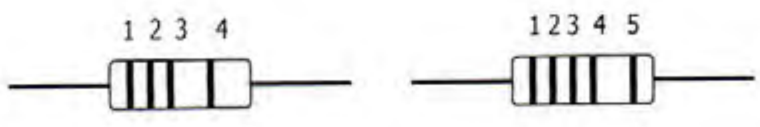
Gambar di bawah ini memperlihatkan simbol resistor tetap



Gambar 4.3 Simbol Resistor Tetap

2. Kode warna Resistor

Kode warna pada resistor menyatakan harga resistansi dan toleransinya. Semakin kecil nilai toleransi suatu resistor adalah semakin baik, karena harga sebenarnya adalah harga yang tertera (harga toleransinya). Misalnya suatu resistor harga yang tertera = 100 Ohm mempunyai toleransi 5 %, maka harga yang sebenarnya adalah 100 - (5 % x100) s/d 100 + (5 % x100) = 95 Ohm s/d 105 Ohm.Terdapat resistor yang mempunyai 4 gelang warna dan 5 gelang warna seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 4.4 Resistor dengan 4 gelang warna dan 5 gelang warna

Kode Warna pada Resistor 4 Gelang

Warna	Gelang 1 (Angka pertama)	Gelang 2 (Angka kedua)	Gelang 3 (Faktor pengali)	Gelang 4 (Toleransi)
Hitam	-	0	1	-
Coklat	1	1	10^1	1
Merah	2	2	10^2	2
Oranye	3	3	10^3	3
Kuning	4	4	10^4	4

Warna	Gelang 1 (Angka pertama)	Gelang 2 (Angka kedua)	Gelang 3 (Faktor pengali)	Gelang 4 (Toleransi)
Hijau	5	5	10^5	5
Biru	6	6	10^6	6
Ungu	7	7	10^7	7
Abu-abu	8	8	10^8	8
Putih	9	9	10^9	9
Emas	-	-	10^{-1}	5
Perak	-	-	10^{-2}	10
Tanpa Warna	-	-	10^{-3}	20

Arti kode warna pada resistor 5 gelang adalah:

Gelang 1 = Angka pertama

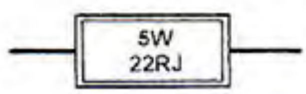
Gelang 2 = Angka kedua

Gelang 3 = Angka ketiga

Gelang 4 = Faktor pengali

Gelang 5 = Toleransi

Resistor yang mempunyai kode angka dan huruf biasanya adalah resistor lilitan kawat yang diselubungi dengan keramik/porselin, seperti gambar 4.



Gambar 4.5 Resistor dengan Kode Angka dan Huruf

Arti kode angka dan huruf pada resistor ini adalah sebagai berikut :

- 82 k W 5% 9132 W

  82 k W berarti besarnya resistansi 82 k W (kilo ohm)

  5% berarti besarnya toleransi 5%

  9132 W adalah nomor serinya

- 5 W 0,02 W J

5 W berarti kemampuan daya resistor besarnya 5 watt

0,22 W berarti besarnya resistansi 0,22 W

J berarti besarnya toleransi 5%

- 5 W 22 R J

5 W berarti kemampuan daya resistor besarnya 5 watt

22 R berarti besarnya resistansi 22 W

J berarti besarnya toleransi 5%

- 5 W 1 k W J

5 W berarti kemampuan daya resistor besarnya 5 watt

1 k W berarti kemampuan besarnya resistansi 1 k W

J berarti besarnya toleransi 5%

- 5 W R 1 k

5 W berarti kemampuan daya resistor sebesar 5 watt

RIK berarti besarnya resistansi 1 k W

- RSN 2 P 22 kk

RSN 2 P berarti nomor seri resistor

22 k berarti besarnya resistansi 22 k W

k berarti besarnya toleransi 10%

- 1 k 5 berarti besarnya resistansi 1,5 k W

Kali ini kalian akan mencoba menggali konsep dan prinsip-prinsip dari sebuah resistor. Apabila mengacu pada hukum Ohm, menurut kalian ada berapa jenis resistor ?

Untuk memulai kegiatan pembelajaran, coba kalian siapkan :

- 10 buah resistor dengan membaca kode warna.

  Tentukan pula toleransinya dan tuliskan hasilnya pada tabel dibawah.Ukur masing-masing resistor tersebut dengan ohm

meter pilih batas ukur yang meberikan pembacaan pada daerah pertengahan skala. Tulis hasil pengukuran tersebut pada tabel dibawah.

- Bandingkan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan, apakah hasil pengukuran masih dalam toleransi resistor tersebut ?
- Jangan meletakkan alat dan bahan ditepi meja !
- Buatlah kesimpulan !
- Kembalikan semua alat dan bahan !

Resistasi (ke)	Keterangan						
	Kode warna				Nilai R berdasarkan kode warna	Toleransi (%)	Nilai hasil pengukuran
	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Gelang 4			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Berpikir kritis !

Jika ingin mengukur resistansi dari suatu resistor yang terpasang dalam suatu rangkaian dengan ohm meter, maka sumber daya harus diputus/dimatikan, mengapa ? Diskusikan !

Tugas !

Tulis jawaban kalian pada kertas selembar dan di kumpulkan

1. Berapakah resistansi maksimum dan minimum dari resistor $\frac{1}{4}$ watt 100 K ohm 5 %. ?
2. Gambarkan sketsa skala ohm meter yang dipergunakan dalam percobaan ini, dimanakah letak angka 1, 10 dan 1000 ?
3. Jika suatu ketika kita membutuhkan resistor 4 K dan 27 K ohm dengan toleransi 10%, resistor dengan kode apakah yang akan kita beli ?
4. Suatu resistor mempunyai kode warna sebagai berikut : jingga; putih;emas dan perak, berapa nilai resistansinya ?
5. Suatu resistor dengan resistansi 10 K ohm dengan toleransi 5%, maka resistor tersebut mempunyai kode warna....

3. PENGUKURAN RESISTANSI LINIER DAN NON LINIER

Tugas 4

Sumber tegangan merupakan peralatan atau instrumen yang menghasilkan tegangan, baik yang konstan maupun yang variabel. Kalian tahu apabila tegangan yang memiliki resistansi linier dinaikan, maka arusnya akan naik pula. Bila arus yang melalui resistor dinaikan maka akan mempengaruhi kenaikan temperatur

pada resistor atau energi listrik dikonversikan pada resistor menjadi panas.

Bisakah kalian menjelaskan apa maksud dari uraian tersebut ? dan apakah yang dimaksud dengan resistansi linier ?

Ada beberapa komponen-komponen elektronika yang termasuk pada resistor non linier, coba kalian berikan beberapa contoh dari komponen-komponen tersebut !, bila perlu/diperbolehkan cari dari internet atau literatur-literatur yang relevan.
Resistor non linier adalah...........

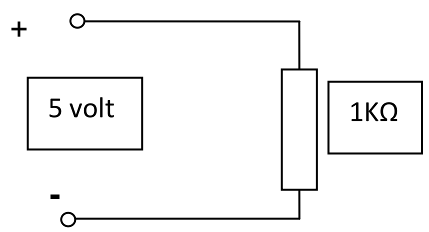
Untuk melaksanakan kegiatan pengukuran resistansi linier, coba kalian siapkan peralatan sebagai berikut ;

1. Catu daya (dapat diatur) 0 – 50 VDC
2. Papa percobaan
3. Mulitester
4. Resistor 1 K ohm/1 W; 2k2; 3k3
5. Kertas grafik
6. Lampu + socket DS1
7. Kabel

Langkah kerja

A. Resistor linier

1. Susun rangkaian seperti berikut, dan yakinkan bahwa catu daya belum terpasang.



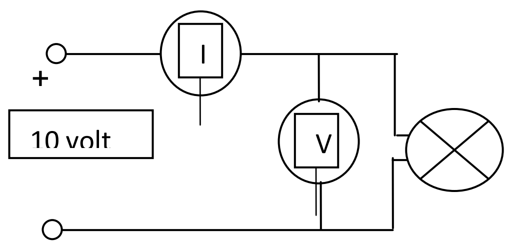
R	V= 5 V	I (mA)	V=10 V	I (mA)	V=15V	I (mA)
1 K						
2K2						
3K3						

2. Hidupkan catu daya dan atur tegangan 5 V DC
3. Ukur dan masukan kedalam tabel tegangan jatuh pada ujung-ujung resistor
4. Matikan catu daya dan pasang ampermeter pada rangkaian
5. Hidupkan kembali catu daya dan catat besarnya arus yang mengalir pada tabel. Dan matikan kembali catu daya
6. Lepaskan resistor pada rangkaian dan ukur resistansi menggunakan ohm meter, catat pada tabel
7. Ulangi langkah 3 – 6 tetapi dengan menggunakan tegangan 10 V DC kemudian 15 V DC
8. Ulangi langkah 1 – 6 untuk resistor 2K2 dan 3K3

Bisakah kalian gambarkan kurva tegangan sebagai fungsi arus dari uraian diatas ?
Bagaimana hubungan tegangan dan arus pada langkah 3 – 6 pada ketiga resistor dan apakah grafik ketiga ada persamaannya ? jelaskan !

B. Resistor Non Linier

1. Susunlah rangkain seperti di bawah berikut dan set tegangan pada 10 V DC



-

2. Ukur dan catat tegangan jatuh pada lampu dan perhatikan terangnya lampu

V= 10	I (mA)	V (lampu
	....	....
V=20	I (mA)	V (lampu
	....	....

3. Ukur besarnya arus dan catat pada tabel
4. Hitung resistansi lampu, dan catat hasilnya pada tabel
5. Ubah besarnya tegazngan dengan 20 V DC dan ulagi langkah 2 – 4 , cata hasilnya pada tabel

Jika resistansi berubah menurut tegangan, bagaimana bentuk grafiknya ?

Terangkan oleh kalian hubungan antara tegangan dan arus pada komponen-komponen yang mempunyai resistansi non linier dan terangkan pula pengaruh tegangan input terhadap tegangan lampu.

Terangkan dan jelaskan pengaruh perubahan tegangan terhadap resistansi lampu. Gambarkan kurva karakteristiknya

Mengapa temperatur merupakan faktor penting dalam perencanaan rangkaian dengan menggunakan komponen-komponen non linier ?

Review .....

Sebelum melanjutkan pada pembahasan selanjutnya, kalian ingat bahwa, di kelas sembilan kalian pernah belajar tentang hukum ohm (Ω) , menurut kalian apa itu hukum ohm dan ada berapa macam hukum ohm ?

Perlu diketahui dan dipelajari

Ketiga nilai-nilai E, I, dan R itu selalu akan terdap[at didalam suatu rangkaian listrik.dan antara ketiga nilai tersebut berhubungan erat satu sama lainnya. Artinya jika salah satu nilai itu dirubah atau berubah, maka yang lainnya akan turut berubah pula.

a. Hubungan antara tegangan E dan aliran arus listrik I

Bila besarnya hambatan atau penahan listrik R yang hendak dialiri oleh aliran listrik *I* itu tidak berubah-rubah, sedangkan besarnya aliran listrik di dalam hambatan listrik *R* diperbesar menjadi 2x dari semula, maka besarnya kekuatan tegangan *E* itu menjadi 2wx lebih besar pula.

b. Hubungan antara aliran listrik I dan hambatan listrik R

Bila besarnya kekuatan tegangan ***E***, tidak dirubah-rubah, sedangkan hambatan listrik ***R*** yang dialiri oleh aliran listrik ***I*** diperbesar menjadi 2x lebih besar dari besarnya semula, maka besarnya I akan menjadi 2x lebih kecil. Dan jika yang dimaksudkan di atas ditulis secara singkat maka ;

1. R tetap ------------- E = 2 kali ------------ I = 2 kali ; atau
   ------------- E = ½ kali ------------ I = ½ kali

2. E tetap ------------- R = 2 kali ------------ I = ½ kali ; atau

------------- R = ½ kali ------------ I = 2 kali

Hubungan dari ketiga satuan listrik E; I; dan R ini diatur dalam suatu hukum. Masih ingatkah kalian hukum apa itu ? coba diskusikan !
Apabila kalian tahu rumus-rumusnya coba kalian tuliskan !

Hukum-hukum yang kalian tuliskan sebenarnya berlaku untuk lingkaran (loop) listrik tertentu saja. Dan aliran-aliran listriknya tidak mengalir terus menerus (artinya hanya sesaat saja). Oleh karena itu hukum yang kalian bahas dan pelajari tersebut dipakai hanya untuk pengertian-pengertian saja, sedangkan yang dipergunakan adalah ***Hukum Ohm II.*** Kalian tahu apa itu hukum ohm II ?

Untuk menjawab pertanyaan tersebut coba kalian cari pada beberapa literatur yang sudah kalain peroleh kemudian presentasikan di depan kelas bersama-sama kelompoknya masing-masing !

R i v i e w : ....

1. Sebuah lampu listrik yang memiliki hambatan filamen 120 ohm, dihubungkan pada suatu kutub sumber aliran listrik yang memiliki E sebesar 12 Volt. Berapakah besarnya aliran listrik yang mengalir di dalam lampu tersebut ?

2. Sebuah setrika listrik dipasang pada sebuah sumber tegangan E 220 Volt AC, berapakah besarnya hambatan atau penahan listriknya jika besarnya aliran listrik yang mengalir di dalam suatu alat tersebut ternyata 20 mA ?

3. Sebuah solderbaudt listrik yang berpenahan sebesar 500 ohm harus dilalui oleh suatu aliran listrik sebesar 500 mA. Kuat aliran listrik ini tidak boleh kurang dari pada harga tersebut. Berapakah besarnya tegangan E yang dibutuhkan agar syarat-syarat diatas dipenuhi ?
4. Aliran listrik sebesar 3 Ampere mengaliri sebuah penahan listrik sebesar 0,1 ohm. Berapakah besarnya tegangan beda antara dua ujung kawat tersebut ?

5. Pada kutub-kutub suatu sumber aliran yang bertegangan E 12 Volt, terpasang lampu listrik yang memiliki hambatan atau penahan 120 ohm. Nyalanya lampu listrik itu ternyata kurang terang. Oleh sebab itu aliran listriknya harus diperbesar dua kali lipat. Apa yang harus diperbuat untuk itu ?

Berpikir kritis !!!

Apabila anda memiliki lampu bohlam yang bertuliskan 12 Volt, tetapi sumber tegangan yang ada adalah 24 Volt , apa yang harus anda lakukan ?, bolehkan lampu tersebut dipasang ? Coba kalian diskusikan kemudian jelaskan di depan kelas

Sebuah alat ukur volt meter, menunjukan pada 18 volt. Sedangkan tahanan dari volt tersebut adalah 3000 ohm.berapakah aliran listrik yang mengalir pada saat itu ?

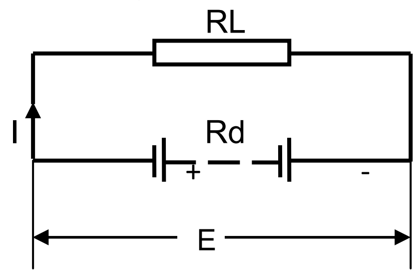
Sebuah setrika listrik tersambung pada jala-jala 220 volt, setelah terpasang ternyata setrika tersebut tidak panas. Setelah diadakan pengukuran ternyata bahwa aliran listriknya 2 kali lebih kecil dari yang seharusnya, jika aliran listrik yang sebenarnya adalah 110 mA. Berapakah besarnya hambatan pada saat aliran listrik mengecil ?

Sebuah motor listrik memutarkan sebuah dinamo yang seharusnya berputar sebanyak 18 putaran dalam 1 detik. Tetapi kenyataannya hanya 8 putaran saja, dengan cara begitunmaka besarnya tegangan E adalah 2 kali lebih kecil dari pada semula. Berapakah besarnya aliran listrik yang mengalir sekarang bila penahan dinamo tersebut sebesar 10 ohm ? dan E semula 40 Volt ?

Lanjutan.....

Lingkaran-lingkaran listrik yang terdapat pada praktek sehari-hari adalah lingkaran-lingkaran listrik tertutup. Untuk mengetahui keadaan besar kecilnya aliran listrik I, besarnya tegangan listrik E dan hambatan listrik R didalam lingkaran tersebut dapat diatur oleh hukum ohm II. Hambatan listrik didalam lingkaran listrik tertutup ada dua, yaitu tahanan luar (RL) dan tahanan dalam (Rd) adalah suatu tahanan yang ter sembunyi di dalam sumber tegangan atau sumber aliran. Tahanan Rd ini berfungsi untuk mengalirkan aliran listrik I didalam sumber aliran.

Perhatikan gambar berikut ;



Lingkaran tertutup (loop) dari gambar tesebut adalah ;

a. Sumber tegangan sebesar E.
b. Hambatan-hambatan listrik yang dipasangkan pada kutub – kutub sumber tegangan E, hambatan ini dinamakan hambatan luar (RL).

c. Hambatan listrik yang terdapat di dalam sumber tegangan, oleh karenanya disebut (Rd).

Hambatan dalam (Rd) ini selalu akan ada pada setiap lingkaran tertutup. Didalam perhitungan-perhitungan, hambatan ini tidak boleh diabaikan, sebab akan mempengaruhi terhadap besarnya Electro Motive Force (EMF) dan aliran listrik I yang dikeluarkan oleh sumber aliran listrik tersebut.

Untuk di jawab !!

- Apa yang dimaksud dengan EMF ? dan carilah oleh kalian contoh-contoh peralatan tentang itu !
- Tahukah kalian, apa itu RL ?

Sebagaimana diketahui bahwa untuk mengalirkan aliran listrik di dalam hambatan dibutuhkan tegangan sebasar E = I x R, demikian juga untuk mengalirkan aliran listrik didalam hambatan RL dibutuhkan tegangan luar sebesar RL yang dapat dihitung seperti ;

$$EL = I \times RL$$

Akan tetapi di dalam lingkaran tertutup itu ada hambatan dalam Rd, maka untuk mengalirkan aliran listrik di dalam hambatan dalam Rd ini, dibutuhkan juga tegangan dalam yang besarnya sebesar Ed = ... ?

Dengan demikian bahwa untuk mengalirkan aliran listrik di dalam lingkaran tertutup dibutuhkan dua buah tegannngan yaitu ;

a. Tegangan EL untuk mengalirkan aliran listrik I dalam hambatan luar RL.
b. Tegangan Ed untuk mengalirkan aliran listrik I dalam hambatan dalam Rd.

Jadi kedua tegangan, yakni tegangan luar EL dan tegangan dalam Ed tersebut harus disediakan oleh sumber aliran EMF sebesar E Volt atau jika ditulis dengan rumus EL + Ed = Ejumlah = E total

BERFIKIR KRITIS

Coba kalian cermati dan tentukan bagaimana turunan dari persamaan ;

$$I = \frac{E}{RL + Rd}$$

Review

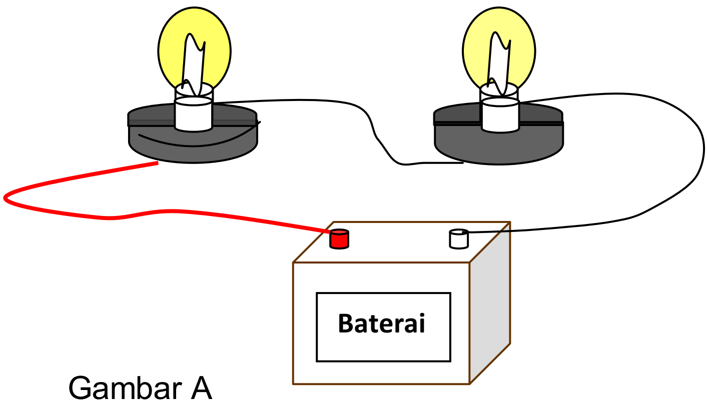
1. Sebuah accumulator memiliki E sebesar 6,3 Volt, besarnya aliran listrik 0,3 A. jika hambatan dalam Rd adalah 0,1 R totalnya, berapakah nilai RL dan Rd ?
2. Sebuah accumulator memiliki E sebesar 12,6 volt, kalau penahan RL adalah 19,9 ohm. Berapakah tegangan yang hilang jika I sebesar 0,6 A ?
3. Pada kutub-kutub sebuah dinamo terpasang sebuah lampu 6W; E = 5,75 Volt. Bila tegangan yang hilang 0,25V. Berapakah besarnya aliran saat ini dari dinamo tersebut ?
4. Pada sebuah kutub-kutub accumulator sebesar E 9 Volt, dipasang sejumlah lampu-lampu pijar. Dari keselurhan lampu tersebut memberikan hambatan luar RL sebesar 95 ohm. Bila hambatan dalamnya adalah 5 ohm, berapakah tenaga listrik yang berguna

yang diberikan oleh lampu tersebut, jika aliran listrik yang mengalir hambatan dalamnya adalah 0,09 A ?

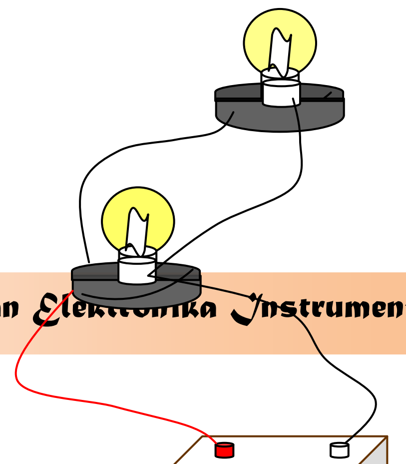
4. Rangkaian Resistor

Tugas 5

Komponen-komponen atau peralatan-peralatan listrik seperti lampu, TV, radio, lemari es, kipas angin dan sebagainya dapat disusun seri, paralel atau gabungan seri-paralel. Yang dimaksud dengan susunan seri komponen-komponen listrik adalah komponen-komponen tersebut dihubungkan sedemikian rupa sehingga kuat arus yang melalui tiap-tiap komponen sama besar, meskipun besar hambatan masing-masing komponen tidak sama. Pada gambar berikut ditunjukan dua buah lampu pijar yang dihubungkan pada sebuah sumber tegangan.



Gambar A



Gambar B

Gambar 4.6 Hubungan lampu dengan sumber tegangan

- Dari gambar diatas manakah lampu pijar yang dihubungkan secara seri ? jelaskan apa yang menjadi pembeda dari ke dua rangkaian tersebut !
- Gambarkan pula rangkaian ekuivalen listriknya dengan komponen resistor !
- Apakah kelebihan dan kekurangan dari ke 2 rangkaian tersebut ?

Berfikir Kritis

A. Susunan seri

Pernahkah kalian memperhatikan lampu hias yang begitu indah dengan lampu-ampu yang warna-warni, bisa berkedip terang dan padam selalu bergantian. Namun apa yang terjadi apabila salah satu dari sekian banyak filament lampu mati atau putus ?

Diskusikan dengan satu kelompokmu apakah lampu hias tersebut dihubungkan secara seri atau paralel

Bagaimana dengan sebuah sekering ?, menurut kalian biasanya dipasang seri atau paralel terhadap rangkaian listrik, mengapa bisa demikian ? dan bagaimana cara pemasangannya dalam suatu rangkaian, jelaskan !

Perlu diketahui !

Tiga Prinsip Susunan Seri

(1) Kuat arus yang melalui tiap-tiap komponen sama, dan sama dengan kuat arus yang melalui hambatan pengganti seri Rs

$$I1 = I2 = I3 = ... I$$

(2) Tegangan pada hambatan pengganti seri (V) sama dengan jumlah tegangan pada tiap-tiap komponen

$$V = V1 + V2 + V3 + ...$$

(3) Susunan seri berlaku sebagai pembagi tegangan. Tegangan pada tiap-tiap komponen sebanding dengan hambatannya.

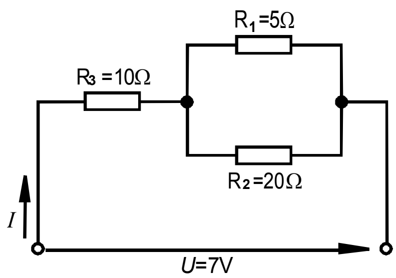
$V1 : V2 : V3 : ..... = R1 : R2 : R3$

Menghitung beberapa besaran listrik pada rangkaian resistor yang dihubung seri

1. Coba kalalian hitung kuat arus yang melalui resistor 10 ohm, 4 ohm, 6 ohm dan 5 ohm yang dihubung seri dan ujung-ujungnya dihubungkan pada baterai 75 Volt dan berapa pula tegangan jatuh pada tiap-tiap resistor tersebut ?

   Kerjakan sendiri-sendiri !

2. Hitunglah tahanan pengganti $R_{pengganti}$ untuk seluruh rangkaian dan arus bagian I_1 dan I_2 pada rangkaian berikut ini.



Gambar 4.7 Rangkaian seri lanjutan

Untuk diperhatikan:

Suatu rangkaian seri yang berisi/mengandung rangkaian parallel, maka pertama-tama dihitung dahulu rangkaian parallelnya.

Kegiatan pengukuran

Dipersilahkan kepada setiap group/kelompok untuk menyiapkan peralatan dan bahan praktek sebagai berikut ;

a) Catu daya yang outputnya dapat diatur dari 0- 30 VDC

b) Papan percobaan

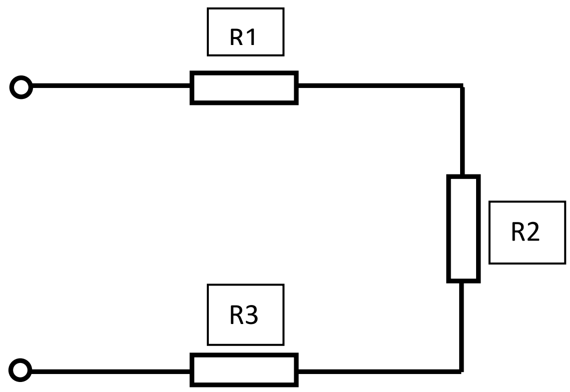
c) Multimeter

d) Resistor R1 = 1 Kohm/5watt, Resistor R2 = 5 Kohm/5 watt,
   Resistor R3 = 10 Kohm/5watt

e) Kabel-kabel penghubung

Langkah Kerja :

1. Susunlah rangkaian sebagai berikut ;



Gambar 4.8 Rangkaian seri resestor

2. Dengan menggunakan ohmmeter, ukur nilai resistansi R1, R2, R3 dan ukur resistansi totalnya, masukan kedalam tabel berikut ;

Resistor	R1	R2	R3	Rtotal
(K Ohm)				

Kegiatan Pengamatan

Setelah kalian mengadakan pengukuran terhadap beberapa nilai resistor, selanjutnya coba kalian eksperimenkan rangkaian tersebut diatas (gambar....) dengan menghubungkan pada catu daya sebesar 12 VDC. Dan catat hasilnya pada tabel berikut;

Resistor	VR1		VR2		VR3		VRtotal		Itotal
	exp	cal	exp	cal	exp	cal	exp	cal	
R1									
R2									
R3									

Review :

Coba kalian diskusikan bersama teman-temanmu, mengapa arus pada rangkaian resistansi yang dihubungkan secara seri adalah sama besar dengan arus total. Bisakah kalian gambarkan bagaimana penempatan ampermeter yang digunakan untuk mengukur arus pada tiap-tiap resistor yang dihubungkan seri.

B. Susunan paralel

Sudahkah kalian perhatikan pralatan-peralatan di rumah masing-masing, menurut pendapat kalian semua peralatan tersebut disusun secara paralel atau seri ? coba kalian deskripsikan !. dan apa yang terjadi apabila salah satu peralatan tersebut rusak, apakah berpengaruh terhadap peralatan yang lainnya , apa dan bagaimana pendapat kalian ? sampaikan alasan kalian !

Perlu diketahui !

Tiga prinsip susunan Paralel

(1) Tegangan pada tiap-tiap komponen sama, dan sama dengan tegangan pada hambatan pengganti paralel Rp.

$$V1 = V2 = V3 = ... = V$$

(2) Kuat arus yang melalui hambatan pengganti paralel (I) sama dengan kuat arus yang melalui tiap-tiap komponen,

$$I = I1 + I2 + I3 + ...$$

(3) Susunan paralel berlaku sebagai pembagi arus, kuat varus yang melalui tiap-tiap komponen sebanding dengan kebalikan hambatannya

$$I1 : I2 : I3 : .... = \frac{1}{R1} : \frac{1}{R2} : \frac{1}{R3} : ......$$

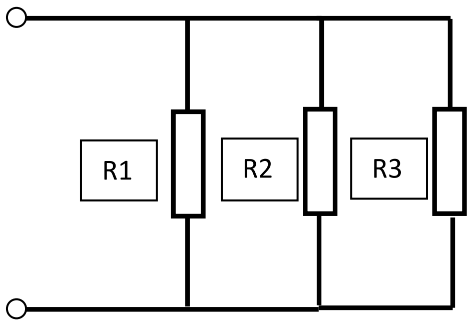
Menghitung beberapa besaran listrik pada rangkaian resistor yang dihubung parlel

Tiga buah resistor masing-masing 10 ohm, 4 ohm, dan 6 ohm disusun paralel dan dihubungkan pada sumber tegangan 60 VDC.

Hitung :

a. Kuat arus yang keluar dari baterai
b. Tegangan pada tiap-tiap resistor
c. Kuat arus pada tiap-tiap resistor
d. Nilai resistor total

Selanjutnya silahkan kalian susun rangkai seperti dibawah ini ;



Ukur resistansi R1 , R2 dan R3 hitung nilai R totalnya kemudian masukan kedalam tabel

Tabel Nilai Resistor

Resistor	R1	R2	R3	Rtotal
(K Ohm)				

Sebelum memulai pengamatan, coba kalian hubungkan rangkaian diatas dengan sumber tegangan sebesar 24 VDC, tunjukan kepada gurumu hubungan kabel positip dan negatipnya agar mendapat rangkaian yang benar !

Ukur arus yang melewati masing-masing resistor R1,R2 dan R3, masukan pada tabel

Tabel Arus Rangkaian

Resistor	IR1 (mA)	IR2 (mA)	IR3 (mA)	IT (mA)
I (mA)				

Strategi :

Kuat arus I yang keluar dari baterai dapat kalian hitung jika hambatan pengganti paralel Rp telah diketahui. Kuat arus yang melalui tiap-tiap resistor (I1, I2 dan I3) dapat kalian hitung dengan menggunakan hukum ohm pada tiap resistor

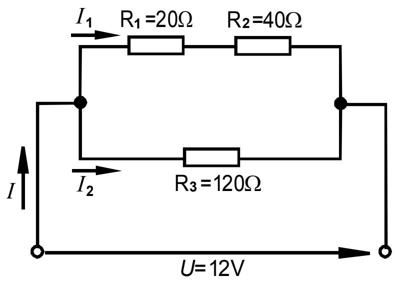
Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, kesimpulan apa yang dapat kalian tuliskan. Buatlah seluruh hasil pengamatannya kedalam bentuk laporan.

Review

Apa yang dimaksud susunan seri pada rangkaian listrik dan apa fungsi dari susunan seri tersebut ?

Apa yang dimaksud susunan paralel pada rangkaian listrik dan apa fungsi dari susunan paralel tersebut ?

Tiga tahanan terhubung seperti pada gambar....Tentukan tahanan pengganti, arus cabang dan tegangan jatuh pada tiap-tiap tahanan !

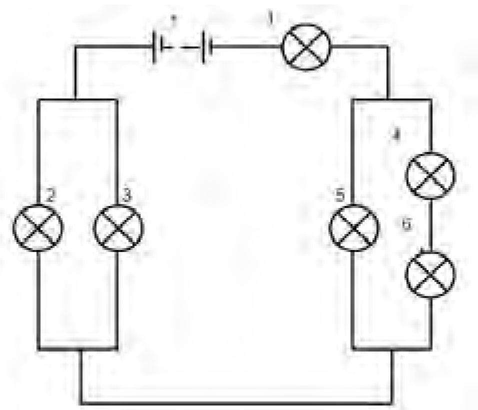


Gambar 4.9
Rangkaian parallel lanjutan

C. Susunan gabungan seri-paralel

Berfikir Kritis

Enam buah lampu dipasang pada rangkaian listrik seperti gambar berikut



Semua lampu memiliki spesifikasi yang sama (Tegangan dan Daya). Tentukan lampu mana yang;

a. Menyala paling terang
b. Menyala sama terang
c. Menyala paling redup

Strategi :

Komponen lampu identik dapat kita ganti dengan sebuah hambatan R. Kemudian dengan menggunakan prinsip seri-paralel kuat arus, kita dapat menentukankuat arus yang melalui tiap-tiap lampu. Untuk lampu identik, lampu menyala paling terang jika kuat arus yang melalui paling besar, dan lampu menyala aling redup jika sebaliknya. Dua atau lebih lampu menyala sama terang ika kuat arus yang melalui tiap-tiap lampu sama besar.

Coba kalian buktikan dari hasil analisa tersebut melalui suatu percobaan dengan menggunakan resistor yang memiliki nilai yang berbeda-beda dari ke enam resistor tersebut. Usahakan setiap kelompok satu dan yang lainnya memiliki nilai-nilai resistor yang berbeda pula !

Buatlah rangkaiannya dengan benar dan tunjukan kepada guru sebelum memulai percobaan, masukan hasil pengamatan kalaian pada tabel berikut :

Tabel Hubungan Tegangan - Hambatan

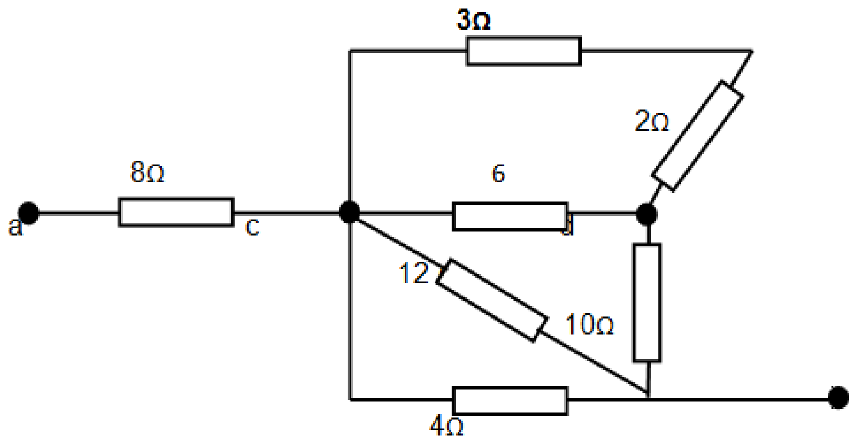
Resistor	VR1		VR2		VR3		VR4		VR5		VR6	
	ex	cal	ex	cal	ex	cal	ex	cal	ex	cal	ex	cal
R1												
R2												
R3												
R4												
R5												
R6												

Tabel Hubungan Arus - Hambatan

Resistor	IR1		IR2		IR3		IR4		IR5		IR6		Itotal
	ex	cal	ex	cal	ex	cal	ex	cal	ex	cal	ex	cal	
R1													
R2													
R3													
R4													
R5													
R6													

Dari semua hasil pengamatan, buatlah laporannya dan serahkan kepada gurumu untuk dinilai.

Review



Sifat individu !

Tentukan hambatan atau resistansi pengganti antara titik **a** dan **b** pada gambar diatas !

5. Resistor Variabel

Apa yang kalian ketahu tentang “Resistor Variabel” ?. benarkah disebut juga dengan potensiometer ? dan apa pula Rheostat ?

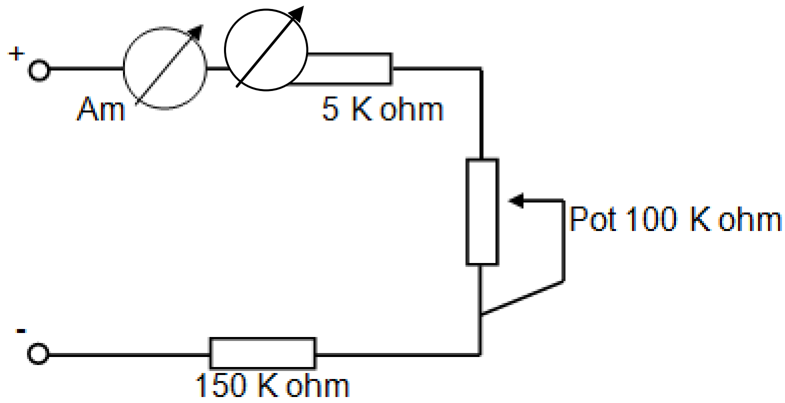
Diskusikan bersama teman-temanmu, dan cari informasi tersebut selengkap mungkin melalui internet dan literatur-literatur lainnya. Presentasikan bersama kelompokmu.

Untuk lebih memahai tentang resistor variabel, coba kalian persiapkan ;

1. Potensiometer 100 KΩ
2. 2 buah resistor tetap masing masing 150 KΩ dan 5 KΩ
3. Sumber tegangan variabel 0 - 30 VDC
4. Kabel penghubung.

Prosedur Pengamatan

1. Susun rangkaian berikut :



2. Berikan catu daya sebesar 24 Volt
3. Atur potensio ke nilai minimum, amati arus yang mengalir pada rangkaian, masukan pada tabel !
4. Ukur tegangan pada R1 Dan R2, masukan pada tabel !
5. Matikan catu daya. Lepas potensio dari rangkaian, ukur dengan ohm meter nilai resistansinya, catat pada tabel !
6. Pasang kembali potensio pada rangkaian, putar ¼ putaran, amati kembali arus yang mengalir pada rangkaian

7. Nyalakan kembali catu daya, ulangi langkah 3 sampai 6 dengan posisi putaran potensio ½ putaran, ¾ putaran dan posisi maksimal, amati arus yang mengalir pada setiap putaran potensio tersebut dan nilai resistansi potensionya pada tabel !

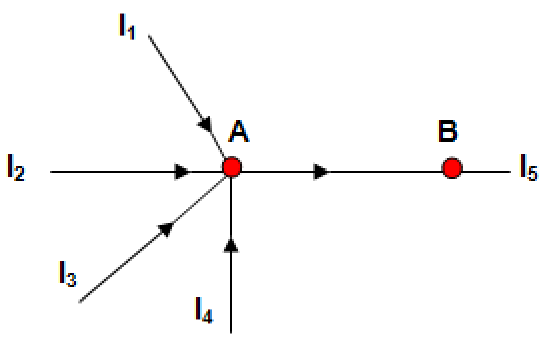
Tabel pengamatan resistor variabel

Potensio (Putaran)	VR (volt)	VR2 (volt)	VR Pot (volt)	I rangkaian (mA)	R potensio (Kohm)
0 putaran					
¼ putaran					
½ putaran					
¾ putaran					
1 putaran					

6. Hukum Kirchoff 1

Tugas 6

Perlu di pelajari



Pada gambar tersebut, titik pertemuan kawat **A** aliran arus listrik yang masuk ; I1, I2, I3 dan I4 berkumpul di titik **A** dan keluar menuju titik **B** yaitu

titik I5. Jika aliran arus listrik yang masuk kita sebut aliran listrik plus, dan aliran listrik yang keluar dari titik itu kita sebut minus, maka kalian bisa menuliskan rumusnya yaitu :.........................

Coba kalian jelaskan keadaan titik-titik A dan B menjadikan definisi dari hukum Kirchoff 1

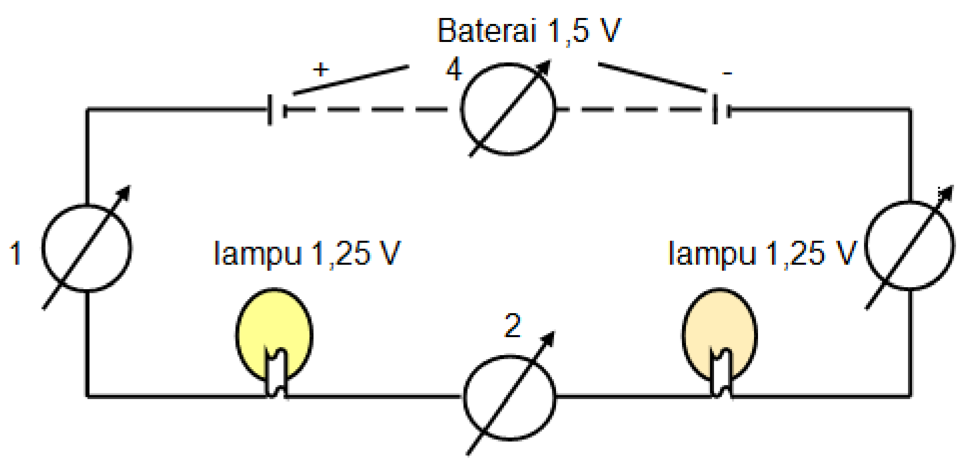
Mengamati kuat arus pada rangkaian yang tidak bercabang

Untuk mempelajari hukum kirchoff ini maka kalian harus mempersiapkan :

1. Sebuah ampermeter yang memiliki batas ukur 0 – 1 Amper
2. Dua buah baterai 1,5 V
3. Dua buah lampu 1,25 V

Pengamatan 1 :

1. Susunlah rangkaian tidak bercabang seperti berikut :



2. Mula-mula pasanglah ampermeter pada posisi 1, kemudian posisi 2, posisi 3, dan posisi 4.
3. Pada setiap posisi ampermeter, bacalah kuat arus yang ditunjukkan oleh ampermeter.

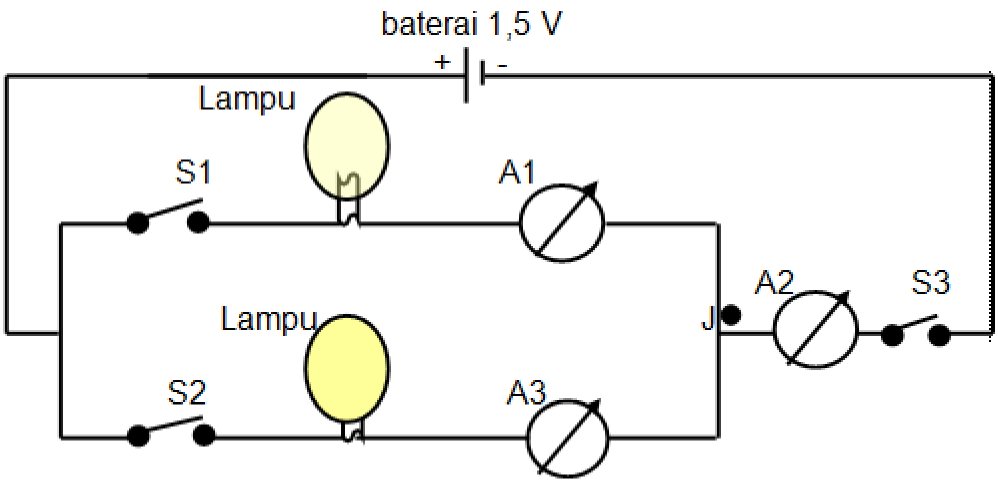
Tabel pengukuran arus pada rangkaian tidak bercabang

No	I (mA)
Amp 1	
Amp 2	
Amp 3	
Amp 4	

Dari hasil pengamatan diatas. Simpulkanlah oleh kalian kuat arus pada rangkaian yang tidak bercabang tersebut !

Sekarang mari kita selidiki kuat arus pada rangkaian bercabang, siapkan :

1. Tiga buah ampermeter
2. Satu biah baterai 1,5 V
3. Dua buah lampu 1,25 V
4. Susun rangkaiannya sepeti berikut :



5. Bacalah kuat arus pada ampermeter A1, A2 dan A3 ketika ketiga switch di tutup dan ketika secara bergantian tiap switch dibuka

6. Pada langkah 5, banduingkanlah kuat arus pada A3 dengan jumlah kuat arus pada A1 dan A2.

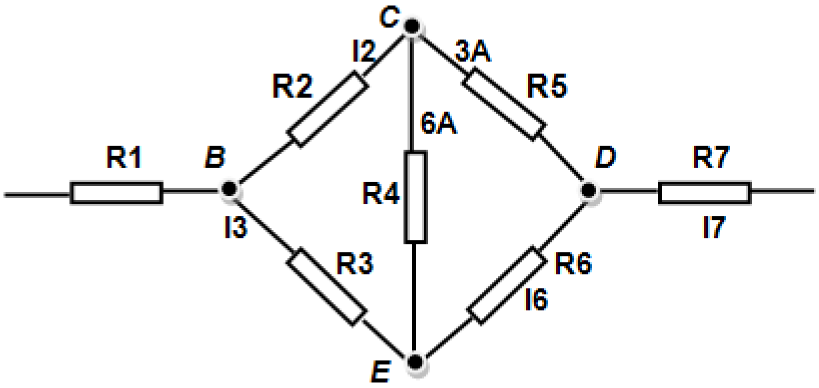
Tabel pengukuran arus pada rangkaian bercabang

Switch			Ampermeter (mA)		
S1	S2	S3	A1	A2	A3
on	on	on			
on	off	on			
off	on	on			

Nyatakan kesimpulan kalian tentang kuat arus pada rangkaian bercabang Apa yang didapat oleh penunjukan ampermeter A1 dan A2 dan A3 ?

Review :

Perhatikan rangkaian gambar dibawah, tentukan kuat arus yang melalui R2, R3, R6 dan R7, dan kemana arah aliran arusnya tandai dan lengkapi dengan arah panah



Pengamatan 2 :

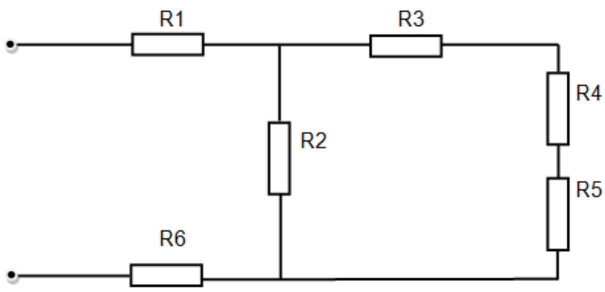
Siapkan peralatan dan bahan untuk kegiatan ini;

1. Catu daya variabel
2. Experimentor (Peaching Unit)
3. Multimeter
4. Resistor R1 – R6 = 2200 Ohm
5. Kabel penghubung

Ukur dan catat terlebih dahulu nilai resistansi tiap resistor !

Resistor	R1	R2	R3	R4	R5	R6
nilai						

Rakitlah rangkaian seperti berikut



Berikan catu daya sebesar 30 V pada sirkit, kemudian ukur dan cata didalam tabel tegangan jatuh serta besarnya arus pada masing-masing resistor.

Tabel pengukuran arus dan tegangan pada rangkaian kombinasi A

V Resistansi (volt)						I Resistansi (mA)					
R1	R2	R3	R4	R5	R6	IR1	IR2	IR3	IR4	IR5	IR6

Langkah Pencegahan !

Amati semua langkah pencegahan mengenai pemakaian ampermeter saat pengukuran arus. Yakinkan bahwa catu daya mati sebelum melakukan perubahan dalam sirkit

Coba sekarang kalian lepaskan R1 dari rangkaian dan ulangi pengamatan dari awal. Catat kembali hasilnya pada tabel

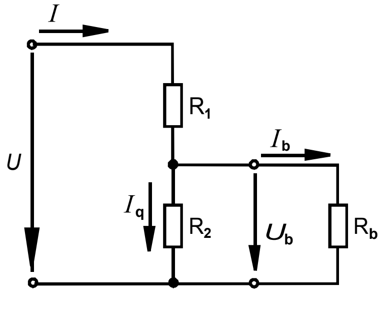
	R2	R3	R4	R5	R6	Itotal
E (volt)						
I (m A)						

Review

Tuliskan rumus untuk mencari arus total It dari rangkaian diatas, dan hitung pula besarnya tegangan pada VR4 dan VR2 ?

Pembagi tegangan berbeban

Dari suatu pembagi tegangan tanpa beban, jika sebuah beban terhubung padanya, maka menjadi suatu pembagi tegangan berbeban dan dengan demikian berarti menjadi suatu rangkaian campuran lihat gambar.....



Gambar 4.10 Pembagi tegangan berbeban

Tegangan jatuh pemakaian (tegangan beban) terletak pada tahanan parallel $R_{2,b}$. Tegangan total U berpengaruh pada tahanan total R_1 + $R_{2,b}$

Dengan demikian sebagai rumus pembagi tegangan berlaku:

$$\frac{U_b}{U} = \frac{R_{2,b}}{R_1 + R_{2,b}}$$

Rumus pembagi tegangan

(pembagi tegangan berbeban)

$$R_{2,b} = \frac{R_2 \cdot R_b}{R_2 + R_b}$$

R_{2b} tahanan parallel dalam Ω

R_1 tahanan bagian dalam Ω

U tegangan total dalam V

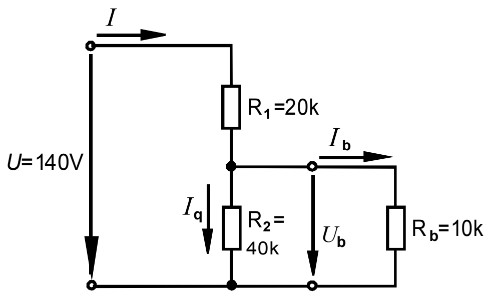
U_b tegangan beban dalam V

Soal :

Tentukanlah tegangan U_b untuk pembagi tegangan berikut ini

a) dengan tahanan beban

b) tanpa tahanan beban!



Gambar 4.11 Pembagi tegangan berbeban

Pengayaan lanjutan

Menarik perhatian, bahwa melalui pembebanan tegangan keluaran berkurang sangat besar.

Penyebabnya, bahwa melalui tahanan beban maka tahanan total rangkaian mengecil, dengan begitu penyerapan arusnya meningkat dan tegangan jatuh pada tahanan R_1 lebih besar oleh karenanya tegangan U_b menjadi lebih kecil.

Untuk memperkecil perbedaan tegangan pada pembagi tegangan dari tanpa beban ke berbeban, tahanan beban terpasang harus lebih besar dari tahanan total pembagi tegangan. Tetapi dalam hal ini harus diperhatikan, bahwa tahanan pembagi tegangan jangan sampai menjadi terlalu kecil, disini jika tidak, maka akan mengalir arus I_q yang besar dan terjadi kerugian yang besar.

Pemakaian: oleh karenanya pembagi tegangan berbeban hanya dipasang, jika dia tidak ada kegunaannya, untuk menetapkan suatu pembangkit tegangannya sendiri atau hal tersebut tidak mungkin atau, jika arus yang melalui beban dapat dipertahankan kecil.

7. Hukum Kirchoff 2

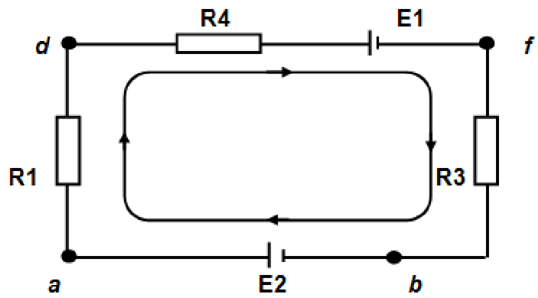
Tugas 7

Penting untuk dipelajari

Di dalam pelajar fisika kalian telah mempelajari tentang gaya gaya nonkonservatif. Dimana usaha yang dilakukan oleh gaya konservatif tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya, tetapi hanya tergantung pada kedudukan awal dan kedudukan akhirnya.

Diskusikan ! berikan deskripsi gaya-gaya apakah yang termasuk gaya konservatif ?

Perhatikan suatu rangkaian listrik yang kuat arusnya tetap seperti pada gambar berikut :



Dalam rangkaian listrik ini, medan listrik ($E = F/q$) adalah *medan konservatif.* Dalam medan konservatif ini, usaha yang diperlukan untuk membawa suatu muatan uji positif dari satu titik ke titik lainnya tidak bergantung pada lintasan yang dilaluinya. Jika muatan positif kita bawa berkeliling dari titik ***a*** melalui ***bdf*** **,** dan kembali lagi ke titik *a,* maka muatan uji tersebut tidak berpindah, dan usaha yang dilakukan sama dengan *nol.* Usaha pada medan elektrostatik dirumuskan oleh $W = q V$, sehingga $W = q V = 0$; $V = 0$

- Fakta inilah yang disimpulkan oleh Kirchoff yang dikenal sebagai ***hukum Kirchoff tentang tegangan***

- Tahukah kalian apa itu hukum kirchoff 2 ? coba kalian diskusikan definisi Kirchoff 2 !

Gaya gerak listrik Ɛ dalam sumber tegangan menyebabkan arus listrik mengalir sepanjang loop, dan arus listrik yang mendapat hambatan menyebabkan penurunan tegangan. Dapat ditulis dalam bentuk persamaan : $\Sigma\varepsilon + \Sigma IR = 0$

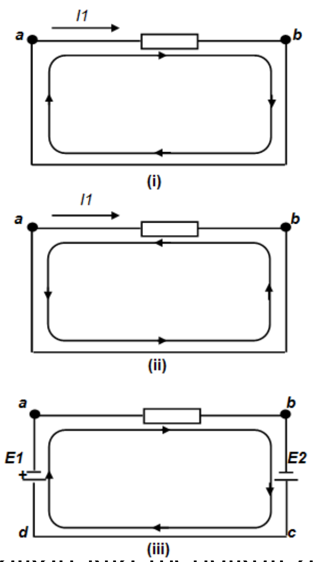
Hasil penjumlahan dari jumlah ggl dalam seumber tegangan dengan jumlah penurunan tegangan sepanjang rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol.

Untuk menggunakan persamaan diatas kalian perlu memperhatikan perjanjian tanda untuk ggl sumber tegangandan kuat arus I, sebagai berikut :

(1) Kuat arus bertanda positif jika searah dengan arah loop yang kita tentukan, dan negatif jika berlawanan dengan arah loop yang kita tentukan.Misalnya jika kita tetapkan arah loop adalah searah jarum jam (lihat gambar), maka kuat arus I berarah dari A ke B searah dengan arah loop, sehingga I bertanda positif (gambar (i).
Jika kita tetapkan arah loop adalah berlawanan arah dengan jarum jam, maka kuat arus I dari A ke B berlawanan arah dengan arah loop, sehingga I bertanda negatif (gambar (ii).

(2) Bila saat mengikuti arah loop, kutub positif sumber tegangan dijumpai lebih dahulu daripada kutub negatifnya, maka ggl Ɛ bertanda positif, dan negatif bila sebaliknya.

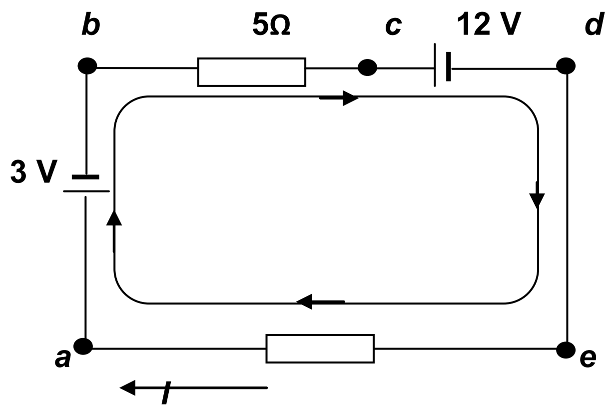
Perjanjian tanda



Misalkan kita mengikuti arah loop abcd (gambar (iii)). Pada saat mengikuti arah loop dari b ke c, kutub negatif sumber tegangan E2 bertanda negatif. Sedangkan ketika mengikuti mengikuti arah lup dari d ke a, kutub positif sumber tegangan E1 dijumpai

lebih dahulu daripada kutub negatifnya, sehingga E1 bertanda positif.

Review :



Rangkaian sederhana dengan satu loop. Kalian tentukan kuat arus ***I*** pada rangkaian disamping.

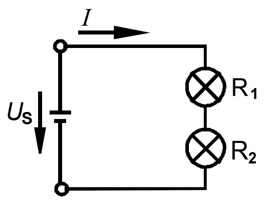
Pada suatu persamaan antara tegangan sumber dengan tegangan jatuh diketahui, bahwa hal tersebut sama besarnya, artinya yaitu tegangan sumber terbagi kedalam rangkaian arus secara keseluruhan.

Dari situ dapat disimpulkan hukum Kirchhoff kedua (hukum jala-jala):

Disetiap rangkaian arus tertutup, jumlah tegangan sumber besarnya sama dengan jumlah semua tegangan jatuh.

$$U_{S1} + U_{S2} = I \,.\, R_1 + I \,.\, R_2 + I \,.\, R_3$$

Dalam praktiknya suatu rangkaian arus biasanya hanya terdiri atas sebuah tegangan sumber dan satu atau beberapa beban.

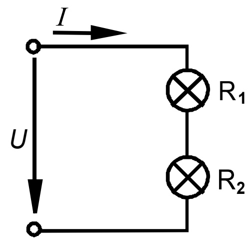


Gambar 4.12 Rangkaian arus dengan sebuah sumber tegangan

Disini berlaku:

$$U_S = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

Kita hubungkan lampu seperti yang tersebut diatas pada suatu kotak kontak, dengan demikian maka tegangan klem *U* kotak kontak dalam hal ini berfungsi sebagai tegangan sumber U_S.



Gambar 4.13 Rangkaian arus dengan suatu tegangan klem

Maka berlaku: $U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$;

disederhanakan menjadi: $U = I\ (R_1 + R_2)$

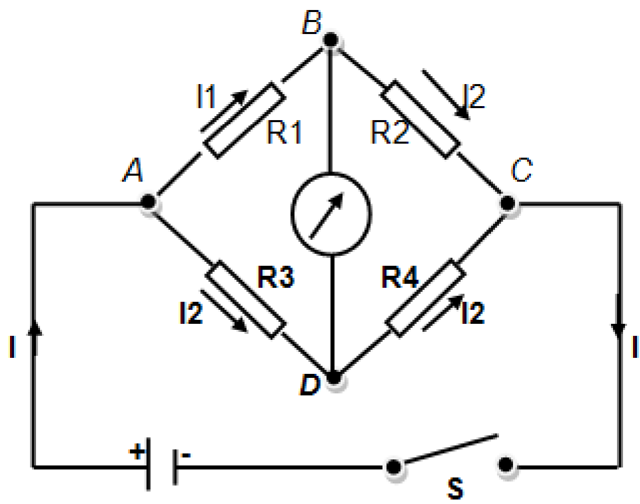
Hukum Kirchhoff kedua (hukum jala-jala) dapat digunakan untuk bermacam-macam. Dia memungkinkan untuk menentukan suatu tegangan sumber yang belum diketahui, arus atau suatu tahanan.

8. Jembatan Wheatstone

Tugas 8

Kali ini kalian akan mendapat materi tentang rangkaian jembatan wheatstone. Mengapa dikatakan wheatstone ? bisakah kalian jelaskan dan deskripsikan ? adakah nama penemunya ? Diskusikan dengan teman-temanmu, bila perlu cari di internet.

Rangkaian jembatan wheatstone ditunjukan pada gambar berikut ;



Gambar 4.14 Jembatan Wheatstone

Apa yang akan terjadi pada galvanometer jika saklar S di tutup ?, coba kalian perhatikan dan pelajari dengan seksama.

Dengan mengatur nilai hambatan, kalian bisa membuat jembatan seimbang (arus melalui galvanometer = 0). Pada keadaan seimbang,

$VAB = VAD$ dan $VBC = VDC$

$I1.R1 = I2.R3$ $\qquad$ $I2.R2 = I2.R4$

$\frac{I1}{i2} = \frac{R3}{R1}$ $\qquad$ $\frac{I1}{i2} = \frac{R4}{R2}$

$\frac{R3}{R1} = \frac{R4}{R2}$ = $R1 . R4 = R2 . R3$

Dari persamaan diatas, coba kalian nyatakan dalam bentuk kalimat, kemudian bandingkan dengan pernyataan yang sudah kalian definisikan sebelumnya.

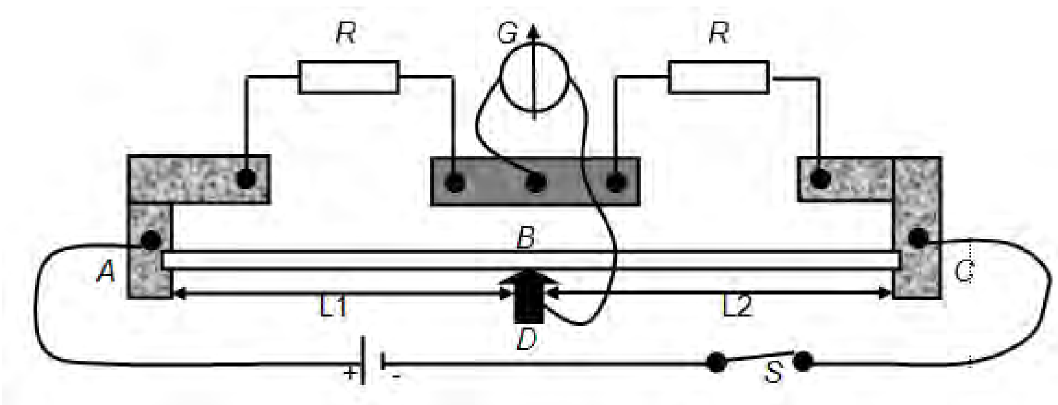
Bentuk praktis jembatan Wheatstone adalah seperti gambar 4.3 berikut. Panjang kawat AC satu meter atau setengah meter . jika saklar S dihubungkan, maka jembatan dapat dibuat seimbang dengan menggeser-geser kontak D sepanjang kawat AC. Pada keadaan seimbang, sesuai dengan persamaan (R1.R4 = R2.R3)

Dengan $R2 = \rho \frac{L2}{A}$ dan $R1 = \rho \frac{L1}{A}$;

Maka, $X. R2 = R. R1$

$X. \rho \frac{L2}{A} = R. \rho \frac{L1}{A} =$ X. L2 = X. L1

Dengan X adalah hambatan yang tidak diketahui, dan R adalah hambatan baku (hambatannya diketahui)



Gambar 4.15 Aplikasi jembatan Wheatstone

Perlu untuk dijawab dan dikumpulkan untuk penilaian

1. Bagaimana formula tiga bentuk hukum Ohm ?
2. Bagaimana perubahan arus dalam suatu rangkaian arus sederhana, jika tegangan yang terpasang berkurang 10 % ?
3. Bagaimana perubahan arus dalam suatu tahanan geser, jika tegangan yang terpasang diperbesar tiga kali dan nilai tahanan setengahnya.
4. Bagaimana bentuk grafiknya, jika misalnya kita ingin menggambar grafik tahanan untuk tahanan R = 90 Ω ?
5. Berapa kuat arus pada suatu rangkaian arus, yang tersusun atas tahanan total 40 Ω dan tegangan sumber 220 V ?
6. Pada suatu rangkaian arus, kuat arusnya meningkat dari 3 A menjadi 4 A. Berapa kenaikan tegangan, jika tahanannya tetap konstan 20 Ω ?
7. Berapa prosen tahanan suatu rangkaian arus harus berubah, jika pada tegangan 220 V kuat arusnya berkurang dari 11 A menjadi 10 A ?
8. Berapa besarnya tahanan suatu kumparan magnit, jika pada tegangan searah sebesar 110 V kumparan tersebut menyerap arus 5,5 A ?
9. Seorang pekerja dengan tidak sengaja telah menyentuh dua penghantar telanjang suatu jala-jala dengan tegangan jala-jala 220 V. Berapa ampere arus mengalir melalui badannya, jika tahanan badannya sebesar 1000 Ω ?
   Arus yang mengalir menjadi berapa ampere pada tegangan 6000 V ?
10. Gambarkanlah grafik tegangan fungsi arus (grafik tahanan) untuk tiga tahanan yang konstan 5 Ω, 10 Ω dan 30 Ω (skala 5 V ≅ 1 cm; 1 A ≅ 1 cm).
11. Bagaimanakah menghitung tahanan total beberapa tahanan yang dihubung seri ?

12. Pada rangkaian seri, tahanan yang mana memiliki tegangan yang besar ?
13. Apa yang dimaksud dengan tahanan pengganti ?
14. Mengapa pada pemakaian (beban) jarang digunakan rangkaian seri ?
15. Apa yang anda ketahui tentang potensiometer ?
16. Suatu pembagi tegangan berguna untuk apa ?
17. Kapan kita gunakan pembagi tegangan dan kapan tahanan depan ?
18. Kerugian apa yang terjadi pada pemakaian suatu tahanan depan ?
19. Bagaimana terjadinya tegangan jatuh pada suatu penghantar ?
20. Tergantung apakah besarnya tegangan jatuh ?
21. Tegangan jatuh berakibat apa pada penghantar ?
22. Mengapa perusahaan pembangkit tenaga memberitahukan tegangan jatuh yang diijinkan pada penghantar ?
23. Berapa ampere arus yang mengalir pada suatu rangkaian seri dengan tahanan R_1 = 100 Ω dan R_2 = 300 Ω pada tegangan sumber 200 V ?
24. Suatu deretan lampu hias sebanyak 16 biji terhubung pada 220 V.Berapa volt tegangan tiap bijinya ?
25. Tiga tahanan R_1 = 20 Ω; R_2 = 50 Ω dan R_3 = 80 Ω terhubung seri. Pada tahanan R_2 harus terjadi tegangan U_2 = 10 V.
    a) Gambarkan rangkaiannya !
    b) Berapa besarnya arus yang harus mengalir melalui rangkaian ?
    c) Berapa besarnya tegangan total harus terpasang ?
26. Pada suatu pembagi tegangan dengan tahanan R_1 = 5 MΩ dan R_2 = 12 MΩ dipasang tegangan U = 200 V.
    a) Berapa besarnya tegangan yang terambil ?
27. Suatu pembagi tegangan tanpa beban tegangan 120 V harus terbagi dalam 100 V dan 20 V. Dalam hal ini pembagi tegangan boleh menyerap arus paling tinggi 10 mA.
    a) Berapa besarnya tahanan total harus tersedia ?
    b) Bagaimana tahanan total terbagi ?

28. Suatu kumparan pada tegangan 220 V dialiri arus sebesar 1 A. Dengan bantuan tahanan depan arus yang melalui kumparan harus berkurang sebesar 10 %.

a) Berapa besarnya tahanan depan yang diperlukan ?

29. Melalui suatu tahanan depan harus bertegangan 50 V pada arus maksimal 2,5 A.

a) Berapa besarnya tahanan depan ?

30. Berapa besarnya tegangan jatuh yang terjadi pada suatu penghantar tembaga, jika luas penampangnya 120 mm^2 dan arus sebesar 50 A ditransfer sejauh 250 m ?

31. Berapa luas penampang yang dipilih, jika suatu arus sebesar 20 A harus ditransfer sejauh 40 m pada tegangan jatuh 3 % dengan U = 220 V ? Bahan yang digunakan tembaga.

32. Suatu penghantar tembaga panjang 150 m dan terdiri atas dua inti dengan luas penampang masing-masing 16 mm^2. Dicatu dengan suatu tegangan sebesar 235 V, yang pada pembebanan tidak juga berkurang.

a) Berapa besarnya arus hubung singkat, jika inti-inti pada ujung penghantar dengan tidak sengaja terhubung singkat ?

33. Jelaskan, mengapa pada suatu rangkaian parallel melalui tahanan yang besar mengalir arus yang kecil ?

34. Sebagai tahanan total untuk suatu rangkaian parallel yang terdiri atas tiga tahanan dengan nilai 50 Ω, 100 Ω, dan 500 Ω diberikan nilai 120 Ω. Mengapa nilai tersebut tidak dapat tepat sama besarnya ?

35. Bagaimana persamaan untuk menghitung tahanan total dua buah tahanan yang dihubung parallel ?

36. Untuk sebuah tahanan R, 4 buah tahanan yang sama besarnya dihubung parallel dan terpasang pada suatu tegangan.

a) Bagaimana perubahan arus total dan tahanan total yang terjadi didalam rangkaian arus ?

37. Mengapa semua peralatan, praktis didalam praktiknya dihubung secara parallel ?

38. Berapa besarnya tahanan samping (tahanan shunt) harus dipasang agar pada suatu beban dengan tahanan R = 90 Ω mengalir arus setengahnya ?

39. Dua tahanan 2,5 Ω dan 4 Ω terhubung parallel.

    a) Berapa besarnya tahanan total ?

40. Tiga buah jam listrik masing-masing dengan tahanan 300 Ω dirangkai parallel dan dihubung pada 12 V.

    a) Berapa besarnya arus total mengalir didalam instalasi ?

41. Tiga buah jam duduk 5 Ω, 8 Ω dan 10 Ω dihubung parallel pada 6 V.

    a) Berapa besarnya tahanan total dan arus total yang mengalir ?

42. Didalam penghantar dengan tahanan R_1 = 90 Ω dan R_2 = 90 Ω mengalir arus sebesar I = 15 A.

    a) Berapa besarnya arus disetiap cabang ?

    b) Berapa tegangan jatuh pada tahanan-tahanan tersebut ?

43. Nilai tahanan suatu rangkaian besarnya R_1 = 50 Ω, dengan memasang tahanan kedua yang dihubungkan secara parallel, tahanan totalnya harus berubah menjadi R_{tot} = 40 Ω.

    a) Berapa besarnya nilai tahanan kedua yang sesuai ?

44. Dalam teknik listrik apa yang dimaksud dengan suatu titik simpul (cabang) ?

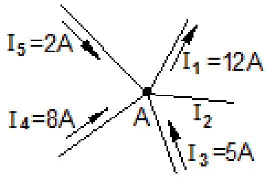
45. Bagaimana bunyi hukum Kirchhoff kesatu, yang juga dikenal dengan hukum titik simpul (cabang) ?

46. Dalam teknik listrik, apa yang dimaksud dengan suatu jala-jala ?

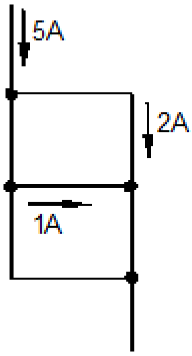
47. Mengapa pada suatu rangkaian arus listrik tertutup, tegangan jatuh tidak pernah dapat lebih besar daripada tegangan sumber ?

48. Lima macam arus mengalir masuk maupun keluar dari titik simpul (gb. 2.37)

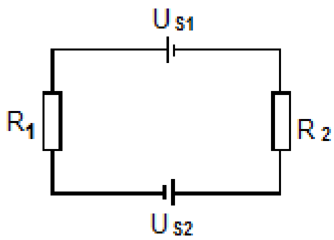
    Berapa besarnya arus I_2 dan bagaimana arahnya ?



49. Lengkapilah pada rangkaian dibawah ini dengan arus yang masih tersisa !



50. Pada rangkaian berikut U_{S1} = 1,5 V; U_{S2} = 4,5 V; R_1 = 10 Ω dan R_2 = 50 Ω



a) Berapa besarnya arus *I* dan bagaimana arahnya ?

b) Berapa besarnya tegangan jatuh U_1 dan U_2 ?

51. Apa yang dimaksud dengan rangkaian campuran ?
52. Mengapa melalui pembebanan, tegangan keluaran suatu pembagi tegangan berubah besarnya ?
53. Bagaimana syarat keseimbangan pada suatu rangkaian jembatan ?
54. Mengapa jembatan tahanan yang seimbang, melalui perubahan tegangan sumber, tidak dapat keluar dari keseimbangannya ?

55. Apa pengaruh yang terjadi pada tahanan di percabangan jembatan pada suatu jembatan tahanan yang dalam kondisi seimbang (balance) ?

56. Diberikan tiga tahanan 20 Ω, 40 Ω, 60 Ω. Gambarkan rangkaian campuran yang mungkin terjadi dan tentukan besarnya tahanan pengganti!

57. Bagaimana tiga tahanan masing-masing 6 Ω harus dihubungkan, agar tahanan totalnya sebesar 4 Ω ?

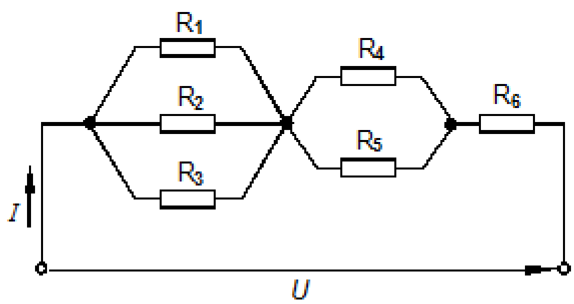
58. Bagaimanakah tiga tahanan 3 Ω, 6 Ω dan 5 Ω harus dikombinasikan, agar tahanan penggantinya menjadi 7 Ω ?

    Gambarkan rangkaiannya dan buktikanlah melalui perhitungan!

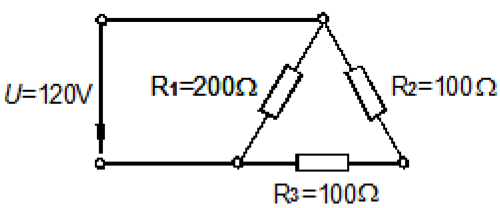
59. Pada gambar rangkaian berikut (gambar 2.40) besarnya R_1 = 3 Ω, R_2 = 6 Ω, R_3 = 2 Ω, R_4 = 20 Ω, R_5 = 30 Ω dan R_6 = 7 Ω; besarnya arus total I = 10 A.

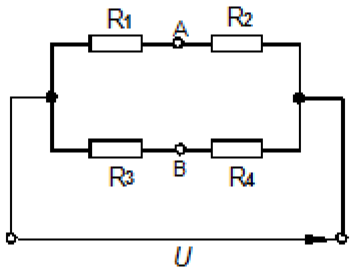
    Tentukanlah:

    a. Tahanan pengganti
    b. Tegangan bagian
    c. Arus cabang
    d. Tegangan total U



60. Dari rangkaian berikut berapa volt tegangan jatuh pada R_2 ?





61. Dua buah lampu L_1 (0,6 A/24 V) dan L_2 (0,8 A/24 V) harus dirangkai seri dan dengan data nominalnya beroperasi pada suatu jala-jala 110 V. Berapa besarnya tahanan depan dan tahanan samping (tahanan shunt) yang digunakan ?

62. Pada rangkaian tahanan (gambar soal no. 60) diberikan:

    R_1 = 15 Ω, R_2 = 45 Ω, R_3 = 25 Ω, R_4 = 35 Ω dan U = 12 V.

    Hitunglah:

    a. arus bagian (cabang)
    b. arus total
    c. tegangan antara titik A dan B

63. Pada gambar 2.42 hubungkanlah titik A dan B melalui suatu "jembatan" dan aturlah sedemikian rupa, hingga terjadi suatu keseimbangan jembatan. Berapa besarnya tahanan R_4 ?

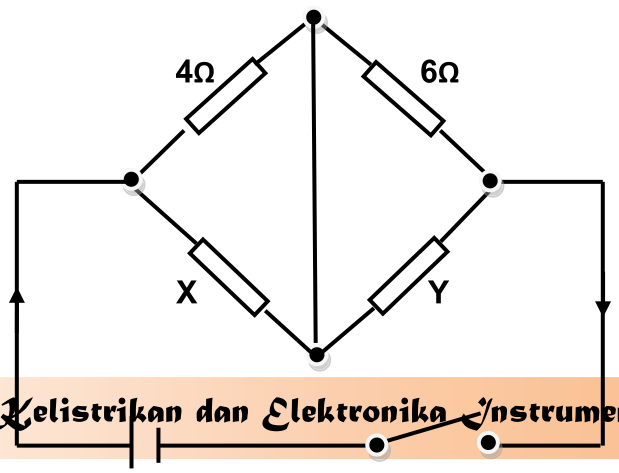
64. Suatu pembagi tegangan dengan tahanan total 3 MΩ pada tegangan total 60 V harus menampilkan suatu tegangan bagian sebesar 5 V.

    a) Berapa besarnya tahanan bagian ?

65. Suatu pembagi tegangan dengan tahanan bagian R_1 = 80 kΩ dan R_2 = 50 kΩ terpasang pada tegangan total U = 100 V.

    a) Berapa tegangan bagian yang sesuai pada tahanan R_2 ?
    b) Berapa volt tegangan bagian U_2 berkurang, jika sebuah tahanan beban R_b = 50 kΩ dihubung parallel dengan R_2 ?

66. Hitunglah nilai X dan Y , apabila rangkaian jembatan wheatstone diatas akan mencapai keseimbangan bila hambatan x diparalel dengan hambatan 4 ohm atau hambatan Y di seri dengan hambatan 6 ohm.



E

S

Hitunglah nilai X dan Y , apabila rangkaian jembatan wheatstone diatas akan mencapai keseimbangan bila hambatan x diparalel dengan hambatan 4 ohm atau hambatan Y di seri dengan hambatan 6 ohm

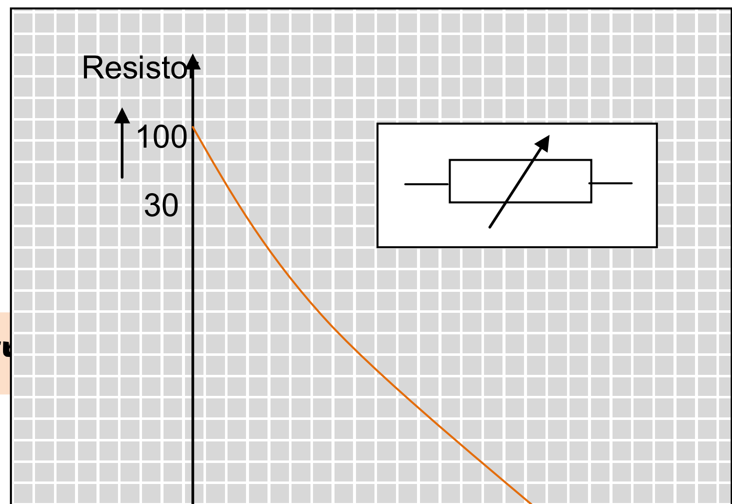
9. Resistor KSN

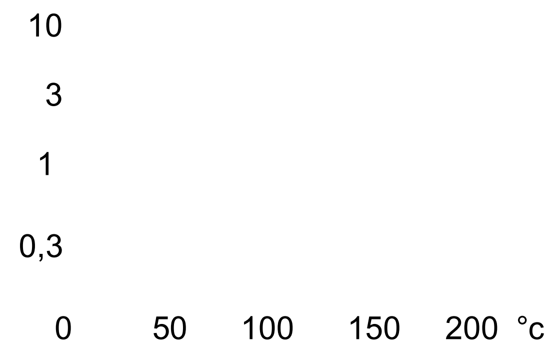
Tugas 9

Untuk dipelajari

Resistor KSN adalah resistor yang besarnya hambatan akan mengecil jika suhunya bertambah besar, sering disebut juga dengan thermistor ataupun thernewid. Koefisien suhu dari resistor KSN terletak antara kira-kira –2 % dan –5 % tiap derajad celcius. Resistor KSN yang pada suhu 25 derajad celcius memiliki nilai hambatan 50 ohm dan koefisien suhu –5 % tiap derajad celcius akan mempunyai nilai hambatan 47,5 ohm pada suhu 26 derajad celcius. Nilai hambatan pada suhu 27 derajad celcius ialah 95 % dari 47,5 ohm dan seterusnya.

Nilai hambatan resistor KSN sebagai fungsi dari suhu dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini.

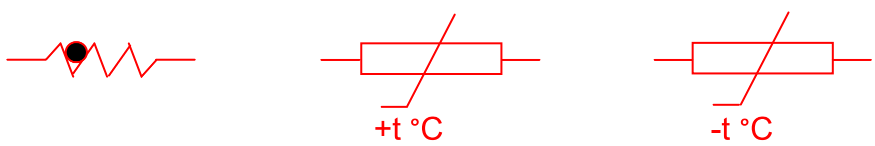




Gambar 4.16 Nilai Hambatan Resistor KSN sebagai Fungsi dari Suhu.

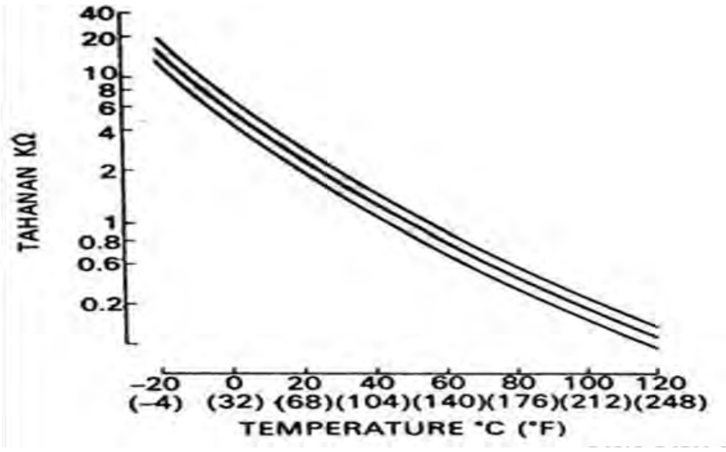
Pada Gambar 4.16 di atas terlihat bahwa pada kenaikan dari 0 derajad celcius sampai + 200 derajad celcius, nilai hambatannya turun dari100 Kilo ohm sampai kira-kira 300 ohm. Resistor-resistor KSN dipakai pada alat-alat elektronik untuk membatasi arus penghidup dan untuk membuat titik suai dari tangga-tangga akhir transistor tidak tergantung dari suhu sekitarnya.

Beberapa jenis KSN atau thermistor yang biasa dipakai yaitu : Koefisien temperatur positif (*positif temperature coefficient /*(p.t.c.) dan koefisien temperatur negatif/ *negatif temperature coefisien (n.t.c.).* Simbol thermistor dalam sirkuit adalah seperti berikut :

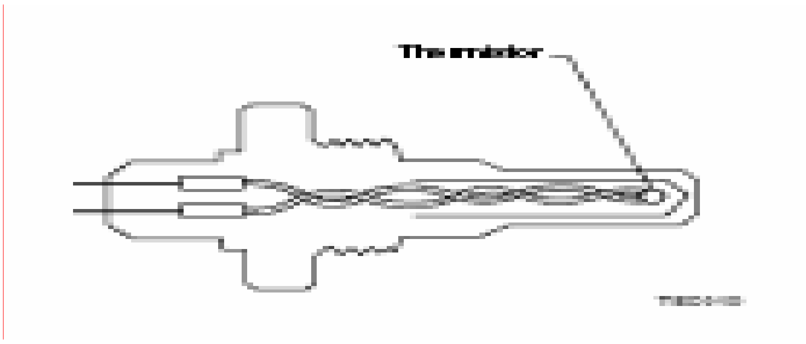


Thermistor PTC dan NTC mempunyai karakter yang berlawanan. PTC akan mengalami kenaikan nilai tahanan apabila temperatur disekitarnya naik. Sebaliknya NTC akan mengalami pengurangan nilai tahanan bila temperature sekitanya mengalami kenaikan.

Aplikasi pemakaian pada kendaraan untuk jenis resistor ini banyak dimanfaatkan untuk mendeteksi temperature air pendingin mesin. Misalkan pada sistem pendingin yang menggunakan thermistor jenis NTC (yang paling banyak diaplikasikan), naiknya suhu air pendingin akan menurunkan nilai tahanan termistor, menyebabkan arus lebih banyak mengalir, dan hasil penunjukan meteran akan bertambah. - *t* ºC + *t* ºC



Gambar 4.17 Karakteristik KSN



Gambar 4.18 Bentuk konstruksi KSN

Pengamatan

Untuk memulai pengamatan tentang resistor KSN atau yang lebih dikenal adalah NTC, lakukan kegiatan berikut ;

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar!
2. Dalam menggunakan meter kumparan putar (volt meter, amper meter dan ohm meter), mulailah dari batas ukur yang besar!
3. Hati-hati dalam menggunakan soldir listrik, jangan mengenai badan dan benda di sekitarnya!

Silahkan kalian persiapkan ;

1. Alat dan bahan yang diperlukan!
2. Ukurlah hambatan KSN keadaan suhu normal dengan multimeter sebagai fungsi Ohmmeter !

3. Panaskan solder listrik dan dekatkan dengan resistor KSN
4. Ukurlah nilai hambatannya dengan multimeter dan catatlah hasilnya pada Tabel berikut

Tabel Data Pengamatan Resistor KSN

No	Suhu (oC)	Hambatan (Ohm)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
....	....	....

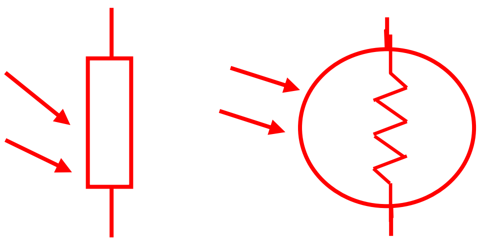
Review :
Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan , bandingkan dengan pembahasan teori !

10. Resistor LDR

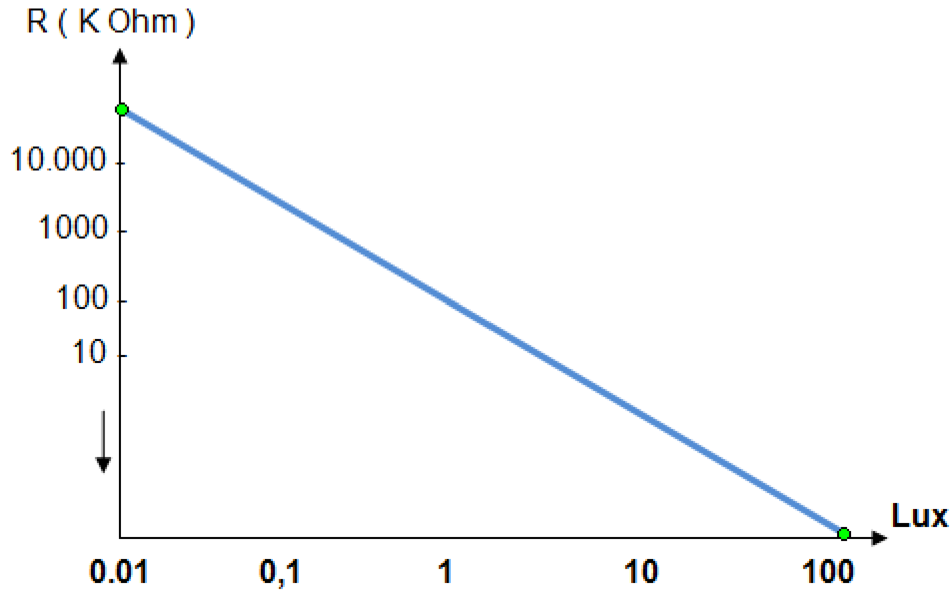
Tugas 10

Resistor LDR Adalah sebuah resistor yang nilai hambatannya akan menurun jika terkena cahaya, dapat juga disebut fotoresistor. Bahan LDR termasuk pada semikonduktor yang dalam keadaan gelap mempunyai tahanan yang besar sekali, sedangkan apabila terkena cahaya atau disinari, tahanannya akan menurun sebanding dengan intensitas cahaya itu.

Simbol LDR dan Karakteristik LDR

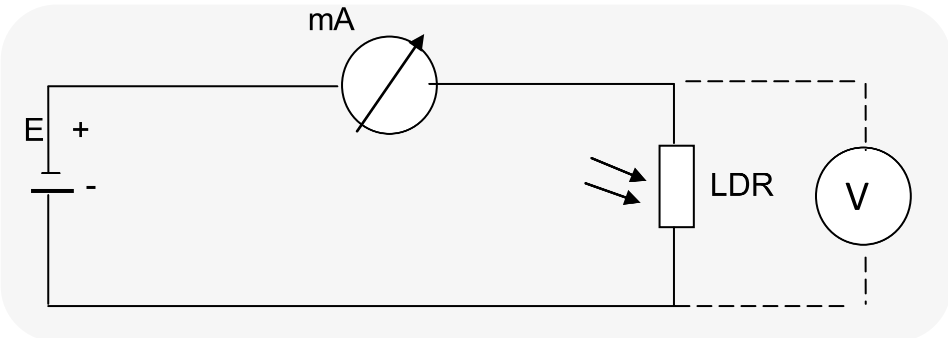


Dilihat dari prinsip kerja, LDR memiliki kegunaan, coba kalian cari kegunaan dan keperluan LDR dalam kegiatan atau kejadian sehari-hari. Berikan beberapa contoh aplikasinya !



Prosedur pengamatan

Bersama-sama kelompokmu, siapkan alat dan bahan yang diperlukan kemudian buatlah rangkaian LDR seperti berikut ;



Pelaksanaan pengamatan :

1. Ukurlah hambatan resistor LDR pada keadaan gelap (sebelum diberikan pencahayaan).
2. Ukurlah hambatan resistor LDR pada keadaan terang (tentukan pencahayaan atau jarak lampu terhadap LDR diatur sedemikian rupa sehingga tegangan pada LDR terdapat perubahan nilai. Bila perlu ulangi beberapa kali pengaturan pencahayaan atau jarak sehingga mendapatkan hasil yang akurat.
3. Catat hasil pengamatan tersebut pada Tabel 4.4 di bawah ini!

Tabel Data Pengamatan Resistor LDR

Pengaturan cahaya/jarak	Hambatan (Ohm)	Arus (mA)	Tegangan (volt)
Gelap			
Redup/jarak ....(cm)			
.....			
.....			
.....			
Terang			

Dilihat dari sifat VDR tersebut, bisakah kalian menyebutkan kegunaan VDR ?

Tugas ! cari pembahasan tentang VDR, tulis dalam bentuk laporan untuk dinilai

Review :

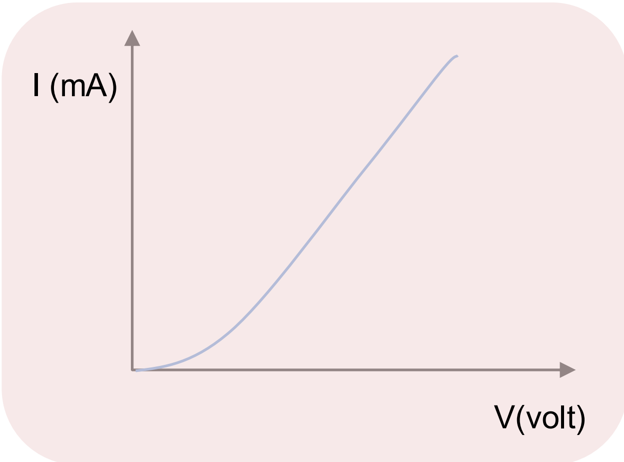
Buat kesimpulan dari hasil pengamatan kalian, dan bandingkan grafik karakteristik hasil pengamatan dengan grafik pengayaan

11. VDR

Tugas 11

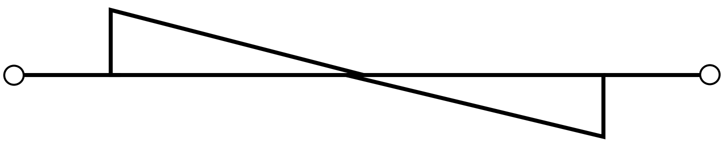
VDR adalah sejenis resistor yang nilai hambatannya tergantung dari besarnya tegangan yang dipasang pada kedua ujungnya, artinya apabila bertambah besar tegangan di kedua ujungnya, maka nilai hambatannya akan mengalami penurunan dan arus yang melaluinya akan bertambah besar.

Pada Gambar 4.19 di bawah menunjukkan karakteristik sebuah VDR, dimana arusnya digambarkan sebagai hambatan terhadap tegangannya.



Gambar 4.19 Karakteristik Arus -Tegangan sebuah VDR.

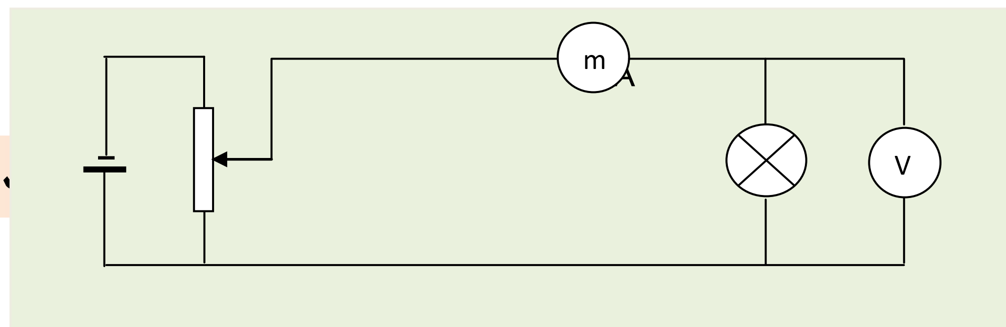
Simbol VDR



VDR digunakan untuk menahan tegangan yang naik secara tiba-tiba dan dalam jumlah yang besar guna melindungi sirkuit yang lainnya.

Pengamatan :

Bersama kelompoknya masing-masing, Siapkan alat dan bahan yang diperlukan sesuai dengan susunan rangkaian percobaan seperti berikut :



E + Rp
-
Lp

Lp, merupakan sebuah lampu sebagai pengganti VDR, sebab tahanannya bergantung pada tegangan yang diberikan

Pelaksanaan percobaan :

1. Atur potensiometer Rp hingga volt meter menunjukan suatu harga, kemudian amati penunjukan miliamper meter.
2. Lakukan pemutaran potensiometer berulang-ulang secara perlahan-lahan, amati kembali miliampermeter dan volt meter pada setiap perubahan atau kenaikan nilai.
3. Catatlah hasilnya pada tabel di bawah ini dan buat grafik krakteristik hubungan antara arus dan tegangannya

Tabel Data Pengamatan Karakteristik VDR

Pengaturan potensiometer Ke....	Tegangan (Volt)	Arus (mA)	Hambatan (Ohm) (Penghitungan)
1			
2			
3			
4			
5			
....	....	......	
....			
....			

Buat kesimpulan dari hasil pengamatan kalian, dan bandingkan grafik karakteristik hasil pengamatan dengan grafik pengayaan

Review :

1. Apakah kepanjangan VDR ?
2. Apa yang dimaksud dengan VDR ? Jelaskan !
3. Untuk keperluan apa VDR digunakan ?
4. Sebutkan salah satu pengganti yang sama prinsipnya dengan VDR.

BAB 5
KAPASITOR

1. Mengenal Kapasitor

Secara prinsip, kapasitor terdiri dari dua buah konduktor yang dipisahkan oleh bahan penyekat (disebut juga bahan elektrolit). Kedua konduktor itu diberi muatan sama besar tetapi berlawanan tanda (yang satu bermuatan +,lainnya bermuatan -).kemampuan kapasitor menyimpan muatan dinyakatakan besaran kapasitas (kapasitansi), yang umumnya diukur dalam satuan mikrofarad (µF) atau pikofarad (pF).

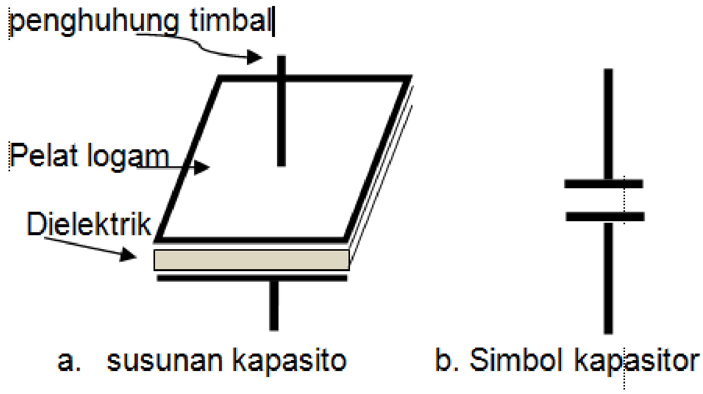
Masih ingatkah saat kalian belajar fisika di kelas 9.

1 µF akan sama dengan ....F

1 pF akan sama dengan....... F

1 μF akan sama dengan........pF

Coba kalian diskusikan bersama teman-temanmu, dan carilah literatur tentang penggunaan kapasitor dalam berbagai rangkaian listrik

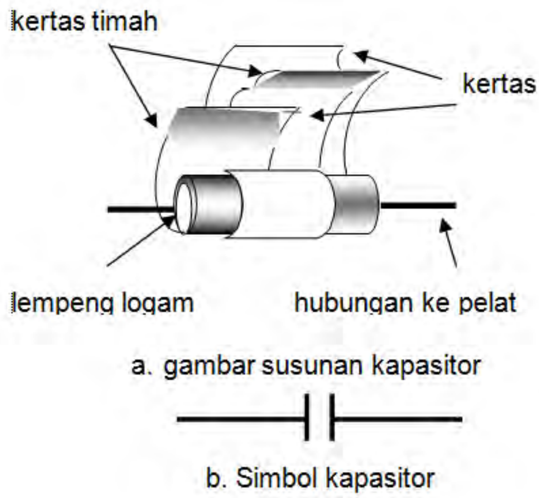


Gambar 5.1 Susunan kapasitor dan simbol kapasitor

Ada beberapa bentuk, ukuran dan jenis kapasitor dalam penggunaannya

2. Kapasitor kertas

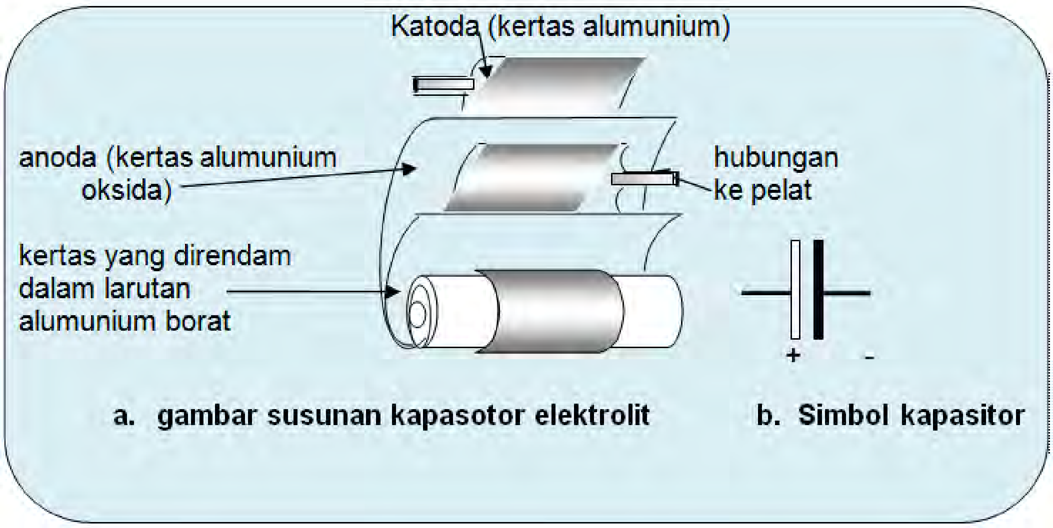
Pada gambar dibawah merupakan konstruksi kapasitor kertas yang terdiri dari dua lembar kertas timah panjang yang berfungsi sebagai pelat-pelat konduktor. Kertas timah ini digulung pada sebuah silinder yang diantaranya diberi penyekat kertas. Jadi, kertas berfungsi sebagai bahan penyekat diantara kedua pelat. Jenis ini biasanya memiliki kapasitansi 0,1 μF.



Gambar 5.2 Kapasitor kertas dan simbol kapasitor

3. Kapasitor elektrolit

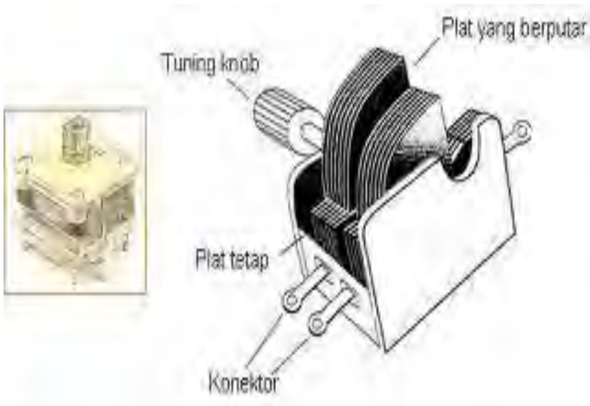
kapasitor elektrolit terdiri dari dua lembar kertas alumunium (sebagai konduktora) dan alumunium oksida yang diproses secara kimia sebagai bahan penyekat. Satu pelat konduktor diberi tanda +, dan pelat ini harus diberi muatan positif. Bila diberi muatan negaif maka bahan penyekatnya akan rusak. Kapasitor jenis ini biasanya memiliki kapasitas paling tinggi sampai 100.000 pF.



Gambar 5.3 Kapasitor elektrolit dan simbol

4. Kapasitor Variabel (Varco)

Kapasitor variabel digunakan untuk memilih frekuensi gelombang radio penerima. Kapasitor ini memiliki dua kumpulan pelat-pelat logam paralel (sebagai pelat konduktor) yang dipisahkan oleh udara (udara sebagai bahan penyekat). Kumpulan pelat satu tetap permanen, sedangkan kumpulan yang lainnya dapat diputar sehingga nilai kapasitasnya dapat berubah. Jenis ini nilai maksimum kapasitansinya sampai dengan 0,0005 µF



Gambar 5.4 Kapasitor Variabel

Kode Angka dan Huruf pada Kondensator.

Kode Angka	Gelang 1 (Angka pertama)	Gelang 2 (Angka kedua)	Gelang 3 (Faktor pengali)	Kode huruf (Toleransi %)
0	-	0	1	F = 1 G = 2 H = 3 I = 4 J = 5 K = 10 M = 20
1	1	1	10^1	
2	2	2	10^2	
3	3	3	10^3	
4	4	4	10^4	
5	5	5	10^5	
6	6	6	10^6	
7	7	7	10^7	
8	8	8	10^8	

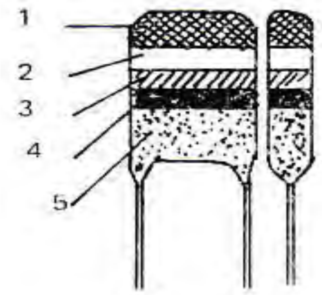
9	9	9	10^9	

Contohnya:

- Kode kapasitor 562 J 100 V, artinya besarnya kapasitansi 56 x 10^2pF, J: besarnya toleransi 5%, 100 V, kemampuan tegangan kerja 100 Volt.
- 100 nJ, artinya besarnya kapasitansi 100 nF, J: besarnya toleransi 5%
- Kode kapasitor 100 uF 50 V, artinya besarnya kapasitansi 100 uF, besarnya tegangan kerja 50 Volt.
- Kondensator yang mempunyai gelang warna nilai kapasitansinya dapat ditentukan dengan cara membaca gelang-gelang warna tersebut dari kiri ke kanan, sedangkan nilai dari gelang warna itu adalah seperti tabel 3 di bawah ini (kondensator polikarbonat metal).

Kode Warna pada Kondensator Polikarbionat Metal

Warna	Gelang 1 (Angka pertama)	Gelang 2 (Angka kedua)	Gelang 3 (Faktor pengali)	Gelang 4 (Toleransi)	Tegangan Kerja
Hitam	-	0	1	± 20%	
Coklat	1	1	10^1		
Merah	2	2	10^2		250 V
Oranye	3	3	10^3		
Kuning	4	4	10^4		400 V
Hijau	5	5	10^5		
Biru	6	6	10^6		650 V
Ungu	7	7	10^7		
Abu-abu	8	8	10^8		
Putih	9	9	10^9	± 10%	



Gambar 5.6 Urutan Kode Warna pada Kondensator

Kapasitas sebuah kondensator adalah sebanding dengan luas pelat-pelat yang membentuk kondensator tersebut. Semakin luas pelat-pelatnya semakin besar nilai kapasitansinya. Nilai kapasitansi berbanding terbalik dengan jarak dari pelat-pelatnya. Semakin kecil jarak kedua plat itu, semakin besar nilai kapasitansinya. Sebaliknya semakin jauh jarak kedua plat itu, semakin kecil nilai kapasitansinya. Nilai kapasitansi sebuah kondensator juga sebanding dengan konstanta dielektrikum dari bahan isolator yang dipasang antara kedua plat itu. Jika nilai konstanta dielektrikumnya mempunyai nilai yang besar, maka nilai kapasitansinya besar.

Sebuah kondensator pelat besarnya nilai kapasitansi ditentukan

dengan rumus : $C = (_{o} \times (_{r} \times A/S$

dimana: C = kapasitas dalam Farad

= $8{,}885 \times 10^{-12}$

$(_{r}$ = konstanta dielektrik relatif dari isolasi yang dipakai

A = luas pelat dalam m^2 tiap pelatnya

S = jarak pelat dalam m

Berfikir kritis :

- Sebelum melakukan pengamatan melalui kegiatan peraktek, deskripsikanlah oleh kalian apakah fungsi kapasitor didalam rangkaian elektronika ?
- Satuan-satuan besaran apa saja yang ada pada kapasitor ?
- Sebuah kondensator pelat mempunyai data-data sebagai berikut: Luas pelat 10 cm^2. Jarak kedua pelat 1 mm. Dielektrikumnya adalah udara (($_r$ = 1). Hitunglah nilai kapasitansinya.
- Sebuah kondensator dengan nilai kapasitansi 10 uF dipasang pada tegangan 1 volt, maka besarnya muatan Q adalah ?

Kapasitor dan faktor-faktor yang mempengaruhinya

Kapasitor memiliki kemampuan untuk menyimpan muatan listrik yang dapat dinyatakan oleh besaran ***kapasitas*** atau ***kapasitansi***. *Kapasitas* (lambang C) *didefinisikan sebagai perbandingan antara muatan q yang tersimpan dalam kapasitor dan beda potensial antara kedua kondiktornya V.*

$$C = \frac{q}{v} \quad \text{....................(A)}$$

Coba kalian lengkapi satuan-satuan berikut !

Satuan muatan *q* adalah...............

Satuan beda potensial adalah ....

Sehingga satuan untuk kapasitas adalah ....

Perlu diingat bahwa :

1 Farad = 1 coulomb/volt

Review :

Coba kalian selesaikan permasalahan berikut !
Sebuah kapasitor dengan kapasitas 0,4 μF dimuati oleh baterai 12 Volt. Berapa muatan yang tersimpan dalam kapasitor itu ?

5. Susunan Kapasitor

Dalam kegiatan peraktek kalian nanti, akan menyusun beberapa buah kapasitor, baik susunan kapasitor secara seri maupun paralel.

A. Susunan seri kapasitor

Coba kalian membuat contoh gambar susunan rangkaian, bagaimana kapasitor disusun secera seri maupun paralel lengkap dengan sumber dayanya.

Susunan seri dari dua buah kapasitor, muatan pada tiap kapasitor adalah sama, dan kapasitas pengganti dapat dihitung dari hubungan

$$\frac{1}{Ct} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}$$ ....(B)

Pada susunan seri kapasitor berlaku :

(1) muatan pada tiap-tiap kapasitor adalah sama, yaiotu sama dengan muatan pada kapasitor pengganti,

$$q = q1 = q2$$ ....(C)

(2) beda potensial pada ujung-ujung kapasitor pengganti sama dengan jumlah beda potensial ujung-ujung tiap-tiap kapasitor

$$V = V1 + V2$$ ....(D)

Dari gambar susunan kapasitor seri yang kalian buat, apabila kalian masukan persamaa *(A)*, maka akan diperoleh :

$$C1 = \frac{q}{V1} \Longleftrightarrow V1 = \frac{q}{C1}$$

$$C2 = \frac{q}{V2} \Longleftrightarrow V2 = \frac{q}{C2}$$

$$Ct = \frac{q}{V} \Longleftrightarrow V = \frac{q}{Ct}$$

Dengan memasukan nilai-nilai V, V1 dan V2 ke dalam persamaan (D), diperoleh ;

$$\frac{q}{Ct} = \frac{q}{C1} + \frac{q}{C2}$$

Jika kedua ruas persamaan dibagi dengan *q*, maka ;

$$\frac{1}{Ct} = \frac{q}{C1} + \frac{q}{C2}$$

Jika kalian kembangkan susunan seri dengan tiga atau lebih kapasitor, maka kapasitas pengganti susunan seri tersebut dapat dirumuskan oleh :

$$\frac{1}{Ct} = \Sigma \frac{1}{Ct} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + ... + \frac{1}{Cn}$$

Berfikir Kritis ;

Kesimpulan apa yang kalian dapatkan dari pembahasan kapasitor yang disusun seri ?, coba kalian diskusikan dan berikan deskrisinya !

Untuk di ingat !

Khusus dua kapasitor yang dirangkai secara seri :

$$\frac{1}{Ct} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} \Leftrightarrow \frac{1}{Ct} = \frac{C2+C1}{C1.C2} \Leftrightarrow Ct = \frac{C2.C1}{C1+C2}$$

Review :

Dua buah kapasitor dihubungkan seri, masing-masing C1 = 6 μF dan C2 = 3 μF. Dan dihubungkan pada sumber tegangan sebesar 18 Volt. Berapa nilai kapasitas pengganti, muatan dan beda potensial tiap-tiap kapasitor tersebut !

B. Susunan paralel kapasitor

Coba kalian gambar contoh susunan paralel kapasitor lengkap dengan sumber dayanya !

Pada susunan paralel berlaku :

(1) beda potensial –tiap-tiap kapasitor sama, dan bernilai sama dengan poptensial sumber.

$$V1 = V2 = V$$

(2) Muatan kapasitor pengganti sama dengan jumlah muatan tiap-tiap kapasitor

$$q = q1 + q2$$

berfikir kritis !

Setelah mempelajari susunan kapasitor yang dihungkan seri, coba kalian amati dan pelajari kembali. Kemudian kalian bandingkan dan diskusikan pada susunan paralel, Turunkan formulasinya !, sehingga apabila dikembangkan susunan paralel dengan tiga atau lebih kapasitor mengapa dapat dirumuskan menjadi seperti berikut :

$$Ct = \Sigma\ Ct = C1 + C2 + ...+ Cn$$

Pengertian apa yang didapat dari forrmulasi tersebut ? Deskripsikan oleh kalian !

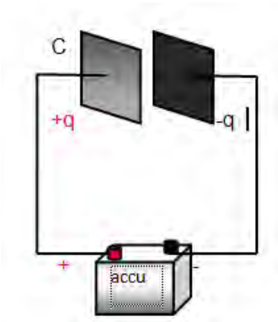
Tiga buah kapasitor masing-masing berkapasitas C. Dengan menghubungkan secara seri dan atau paralel, mungkinkan nilai kapasitas pengganti bernilai 3C, 2C/3, C/3 atau 3C/2 ? Diskusikan bersama teman-temanmu dan presentasikan di depan kelas

Energi yang tersimpan pada kapasitor

Sebuak kapasitor yang bermuatan memiliki energi potensial yang tersimpan didalamnya. Jika salah satu muatannya kita bebaskan mulai dari keadaan diam dari satu keping ke keping lainnya, maka energi potensialnya semakin besar selama muatan itu berpindah.

Kali ini kalian akan akan menghitung berapa banyak energi yang tersimpan di dalam kapasitor

Perhatikan sebuah kapasitor keping sejajar yang mula-mula tidak bermuatan sehingga beda potensial awal antara ke dua keping nol.



Gambar 5.7 kapasitor keping sejajar

Sekarang bayangkan bahwa kapasitor dihubungkan ke baterai untuk memberi muatan maksimum *q*. Kita anggap sedikit demi sedikit muatan dipindahkan dari salah satu keping ke keping yang lainnya. Setelah muatan *q* dipindahkan, beda potensial akhir antara ke dua keping ialah $V = q/C$. Beda potensial awal adalah nol, sehingga beda potensial rata-rata (simbol $\bar{V}$) selama proses pemindahan muatan ini adalah :

$$\bar{V} = \frac{0+V}{2} = \frac{0+q/V}{2} \Longleftrightarrow \bar{V} = \frac{q}{2\,C}$$

Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan q adalah hasil kali beda potensial rata-rata dengan muatan yang sudah dipindahkan;

$$W = q \cdot \frac{q}{2C}$$

$$= q \cdot \left(\frac{q}{2\,C}\right) = \frac{1}{2}\,\frac{q^2}{C}$$

Oleh karena $q = CV$, maka $W = \frac{1}{2}\frac{(CV)^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2$

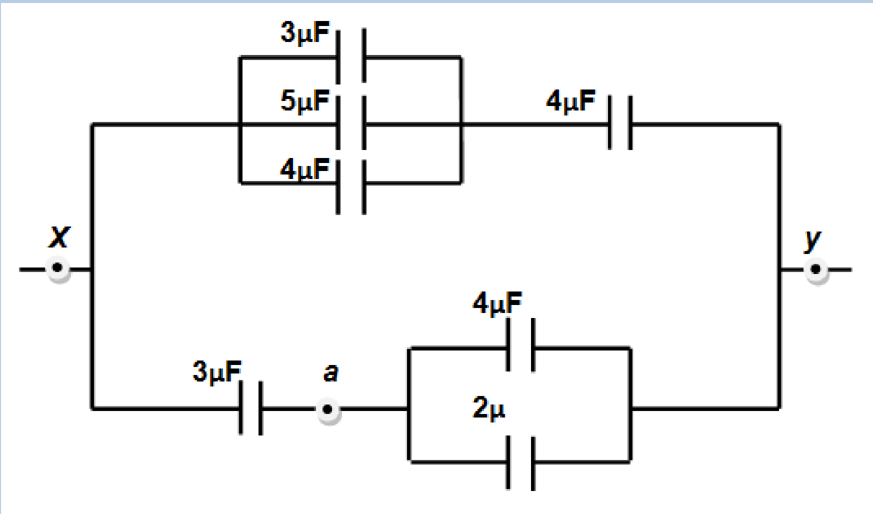
Oleh karena $C = \frac{q}{V}$,ccmaka $W = \frac{1}{2}\,\frac{q^2}{\left(\frac{q}{v}\right)} = \frac{1}{2}\,qV$

Secara lengkap, persamaan energi yang tersimpan dalam kapasitor (energi potensial) adalah :

$$W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}\,q.V = \frac{1}{2}\,C\,V^2$$

Review :

1. Dua kapasitor C1 = 6 μF dan C2 = 3 μF, dihubungkan pada sumber tegangan 18 Volt. Hitung :
   a. Kapasitas pengganti
   b. Muatan dan beda potensial masing-masing kapasitor
2. a. berapa kapasitas pengganti antara titik *x* dan *Y* ?
   b. Jika muatan kapasitor 5 μF adalah 120 μC, berapa beda potensial antara titik *x* dan titik *a pada gambar rangkaian berikut* ?



3. Dua kapasitor 3 μF dan 5 μF disusun seri dan beda poptensial 110 Volt dipasang pada rangkaian ini. Hitung energi yang tersimpan dalam sistem

6. Kode Warna Pada Kapasitor

Pengayaan, di ingat dan dipelajari !

Selain kapasitor yang telah dibahas sebelumnya, ada bahan dan jenis kapasitor lainnya, jenis apakah itu ? coba kalian sebutkan

Ada jenis kapasitor yang memiliki warna seperti resistor. Bisakah anda jelaskan bagaimana cara membaca kode warna pada kapasitor tersebut?

Dan warna warna apa saja yang ada pada kapasitor ?.Isilah warna beserta nilai dan kelipatan kapasitor pada tabel dibawah berikut :

Tabel Kode warna Kapasitor

warna	Gelang1 (angka)	Gelang 2 (angka)	Gelang 3 (pengali)	Gelang 4 (toleransi)	Gelang 5 Tegangan kerja
....					
....					
....					

Kegiatan Pengamata

Untuk memulai kegiatan pengamatan, Siapkan alat dan bahan yang diperlukan, Amatilah kode warna pada kapasitor satu demi satu catatlah dalam tabel 5.1 di bawah ini!

Tabel Data Hasil Pengamatan Kode Warna pada Kapasitor

No	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Gelang 4	Gelang 5	Kapasitas (pF)	Toleransi (%)	Teg.Kerja (volt)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
..								

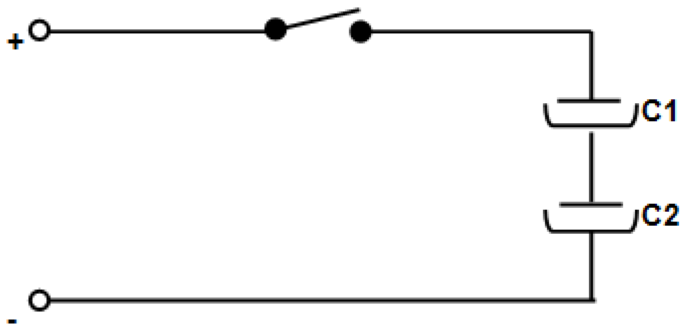
Tugas 13

Distribusi muatan listrik

Persiapkan terlebih dahulu peralatan dan bahan yang diperlukan,

1. catu daya variabel
2. papan percobaan
3. mulimeter
4. kapasitor 1μF (2 buah)
5. kabel penghubung

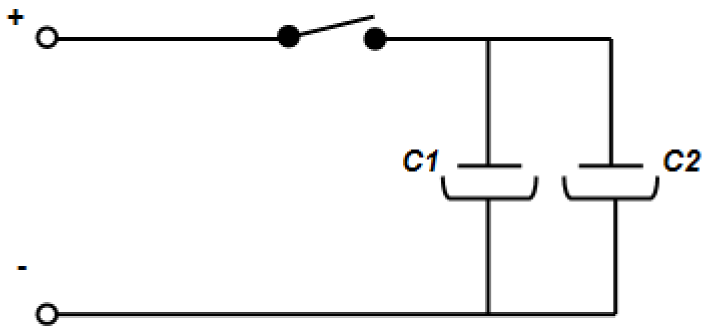
selanjutnya susun rangkaian seperti berikut :



Berikan tegangan kepada rangkaian dengan mengatur catu daya sebesar 30 Volt, on-kan switch hingga arus mengalir pada rangkaian beberapa saat. Ukur dan catat tegangan pada masing-masing ujung kapasitor, ukur pula tegangan totalnya. Hitung dan catat pula nilai ***q*** pada tabel berikut :

kapasitor	V (volt)	Q (qoulomb)	VCt (C1+C2)
C1			
C2			

Putuskan hubungan tegangan sumber pada rangkaian, kemudian susun rangkaian berikut :



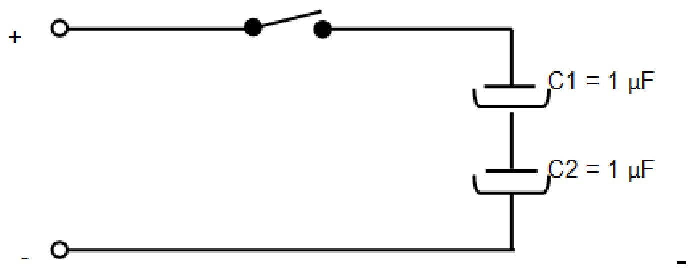
Hubungkan kembali tegangan sumber pada rangkaian, on-kan kembali switch hingga arus listrik menglir pada kapasitor. Catat kembali masing-masing besarnya tegangan kapasitor dan tentukan besarnya nilai q, masukan datanya pada tabel !

kapasitor	V (volt)	Q (qoulomb)	VCt (C1+C2)
C1			
C2			

Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan tadi, buat deskripsinya sehingga kalian dapat memahami dengan jelas mengenai kapasitor.

Tugas 2

1. Susun kembali rangkaian kapasitor berikut ini, hubungkan pada catu daya 25 Volt (sesuaikan dengan kemampuan tegangan kerja pada kapasitor).



2. Tutup switch pada posisi ON agar kapasitor terisi arus listrik hingga penuh (beberapa saat),
3. Putuskan tegangan sumber melalui switch (posisi Off) jika tegangan pada ujung-ujung kapasitor sudah tidak berbah lagi dan amati tegangan pengisian pada meter catu daya.
4. Ukur dan catat tegangan pada ujung-ujung kapasitor.

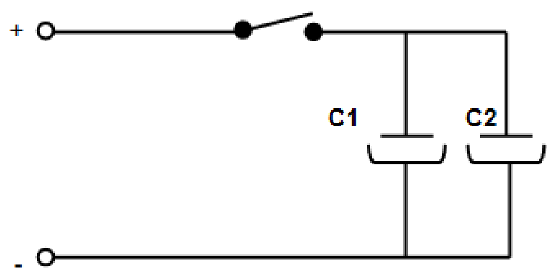
Perhatikan !....

Kapasitor akan mengalami proses pengosongan melalui meter, secepatnya. yakinkan pembacaan anda. Kalian boleh mengulangi langkah 2 dan 3 beberapa kali untuk memperoleh pembacaan atau hasil pengamatan yang akurat

Tabel Tegangan dan muatan pada kapasito

	C1	C2	Qt
E (seri) Volt			
Q seri			
E (paralel) Volt			
Q paralel			

5. Hitung muatan tiap kapasitor dan muatan total. Catat datanya pada tabel diatas.
6. Susun rangkaian seperti berikut !



7. Ulangi langkah-langkah seperti pengamatan tadi, dan catat hasilnya pada tabel diatas !.

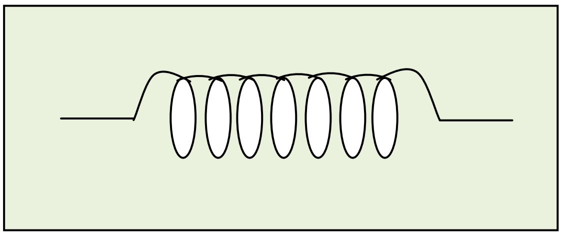
Tabel muatan pada kapasitor

	C1	C2	Qt
E (paralel) Volt			
Q paralel			

Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan tadi dan tulis kedalam laporan untuk dinilai

BAB 6
INDUKTOR

Kalian mungkin pernah mendengar kata Induktor didalam dunia elektronika atau pada saat kalian belajar keterampilan elektronika di kelas IX. Sebelum membahas tentang materi induktor ini, coba cari materi induktor ini sebagai pengayaan awal untuk kalian di internet atau literatur-literatur (buku-buku elektronika). Buatlah dalam bentuk kliping atau laporan tiap kelompok. Sebagai gambaran kalian akan melihat salah satu simbul atau gambar dari sebuah induktror dibawah berikut.



Gambar 6.1 Simbol Induktor

Untuk diingat

Kapasitansi sebuah induktor dinyatakan dalam satuan H (Henry) = 1000mH (mili Henry). Kapasitas induktor diberi lambang (L), sedangkan reaktansi induktifnya diberi lambang XL.

Formulasinya adalah : $\boldsymbol{Xl = 2\pi . f . L}$

Dimana Xl = reaktansi induktif (Ω)

Π = 3,14

F = frekuensi (Hz)

L = kapasitas induktor (Henry)

Beban induktor antara lain adalah :

- Kumparan kawat yang harganya dapat dibuat tetap atau tidak tetap. Induktor yang harganya tidak tetap yaitu Dekade induktor dan Variabel induktor.
- Motor-motor listrik karena memiliki kumparan atau lilitan kawat.
- Transformator karena memiliki kumparan kawat.

Pada induktor terdapat unsur resistansi (R) dan induktif (XL) jika digunakan sebagai beban sumber tegangan AC. Jika digunakan sebagai beban sumber tegangan DC, maka hanya terdapat unsur R saja. Dalam sumber tegangan AC berlaku rumus :

- $Z = \frac{V}{I}$
- $Z^2 = R^2 + Xl^2$
- $Xl^2 = Z^2 - R^2$
- $XL = \sqrt{Z^2 - R^2}$

Dimana : Z = Impedansi (Ω)

R = Tahanan (Ω)

V = Tegangan AC (Volt)

XL = Reaktansi induktif (Ω)

I = Arus (Ampere)

Induktor yang ideal terdiri dari kawat yang dililit, tanpa adanya nilai resistansi. Sifat-sifat elektrik dari sebuah induktor ditentukan oleh panjangnya induktor, diameter induktor, jumlah lilitan dan bahan yang mengelilinginya. Induktor dapat disamakan dengan kondensator, karena induktor dapat dipakai sebagai penampung energi listrik. Di dalam induktor disimpan energi, bila ada arus yang mengalir melalui induktor itu.

Energi itu disimpan dalam bentuk medan magnit. Bila arusnya bertambah, banyaknya energi yang disimpan meningkat pula. Bila arusnya berkurang, maka induktor itu mengeluarkan energi.

Rumus untuk menetukan induksi sendiri dari sebuah induktor gulungan tunggal ialah:

$$L = 4 \text{ x } (\text{ x } r \text{ x } (2xr/d + 0{,}33)\ 10^{-9} \text{ x } n$$

Dimana: L = Induksi sendiri dalam satuan Henry (H)

r = jari-jari koker lilitan

d = diameter tebal kawat dalam cm

n = jumlah lilitan



Gambar 6.2 Induktor Gulungan Tunggal

Induktor dengan gulungan berlapis nilai induksi diri dapat dicari dengan rumus: $L = n^2 \text{ x } d \text{ x } (\text{ x } 10^{-9}$

Dimana: L = Induksi sendiri dalam satuan Henry (H)

n = jumlah lilitan

d = diameter koker dalam cm

l = panjang gulungan dalam cm

(= nilai perbandingan

h = tinggi (tebal) lapisan dalam cm

$$\text{Nilai perbandingan: } (= 20 \text{ x } \frac{1 - \{2xh/(d+h)\}}{1 + \{2xl/(d+h)\}}$$



Gambar 6.3 Gulungan berlapis

1. Sifat-sifat penting induktor

Ada beberapa sifat penting yang kalian perlu ketahui diantaranya adalah ;

- Induksidiri (dinyatakan dalam Henry, millihenry, microhendry)
- Perlawanan ohm kumparan (perlawanan ini membangkitkan medan listrik, jika ada arus yang mengalir pada kumparan, berarti perlawanan ini merupakan kerugian.
- Induksidiri kumparan bergantung pada suhu.
- Perubahan suhu berakibat pada perubahan ukuran-ukuran fisik kumparan (panjang dan penampangnya); karena itu induksipun berubah.
- Suhu naik induksidiri akan menurun.
- Pada kumparan dengan inti besi, induksi diri bergantung pada kuat arus yang mengalir.
- Pada suatu harga arus tertentu, induksidiri menurun. Hal ini disebabkan karena inti sudah jenuh.
- Agar tidak terjadi penjenuhan intimaka diterapkan inti yang memiliki celah udara.
- Celah udara menentukan kuat arus kemagnetan (flux, θ), sebab kuat arus gaya yang lewat celah udara pasti berubah oleh perubahan arus listrik tersebut.

Komponen elektronik yang termasuk induktor karena memakai lilitan kawat antara lain:

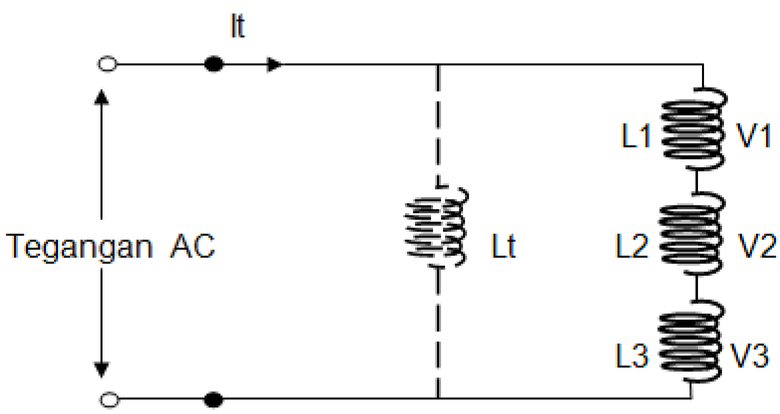
- Trafo daya yang dikenal dengan trafo *step up* dan trafo *step down*

- Trafo frekuensi rendah dikenal dengan trafo input dan output
- Trafo frekuensi tinggi misalnya spull antena dan spull osilator
- Trafo frekuensi menengah antara dikenal dengan trafo IF
- Gulungan bicara pada mikropon atau gulungan yang terdapat pada spiker dikenal dengan *moving coil*.
- Gulungan pada relay
- Gulungan pada filter frekuensi tinggi dikenal dengan nama Rfc (*Radio frekuensi choke*) dan frekuensi rendah (*choke*)
- Gulungan pada motor listrik atau dinamo listrik
- Gulungan pada head *playback*, head rekam dan head hapus (*erase head*)

2. Hubungan Seri Induktasi

Pada pembahasan Resistor, kalian sudah mempelajari bagaimana menghitung resistasi total dalam suatu rangkaian, baik hubungan seri maupun paralel. Pada kali ini kalian akan mempelajari dan menghitung induktasi total dalam suatu rangkaian seri dengan aturan dan cara-cara yang sama seperti menghitung nilai resistansi.

Sekarang kalian perhatikan gambar dibawah ini;



Gambar 6.4 induktor hubung serie

Apabila rangkaian diberikan tegangngan maka arus mengalir pada rangkaian dan tegangan sumber akan sama dengan tegangan total pada ketiga induktor, dimana :

$$Vt = V1 + V2 + V3$$

Hukum Ohm apabila reaktansi (X) untuk resistansi (R) digunakan pada rangkaian AC seperti diatas, maka :

$$Vt = IXt, \quad V1 = IX1, \quad V2 = IX2, \quad \text{dan} \quad V3 = IX3$$

$$IXt = IX1 + IX2 + IX3$$

$$I(2\pi fLt) = I(2\pi fL1) + I(2\pi fL2) + I(2\pi fL3)$$

Atau

$$(2\pi fL)\,Lt = 2\pi fL\,(L1 + L2 + L3)$$

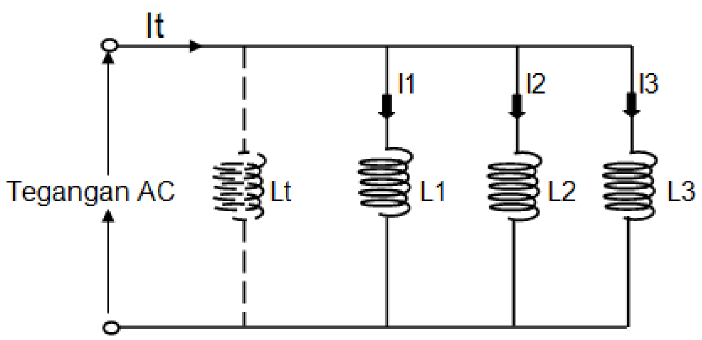
Apabila kita bagi dengan pertidaksamaan $2\pi fL$, maka :

$$Lt = Li + L2 + L3$$

3. Hubungan Paralel Induktasi

Pada hubungan induktansi paralel, induktansi totalnya adalah :

$$\frac{1}{Lt} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3}$$



Gambar 6.5 induktor hubung paralel

Berfikir Kritis

Jika beberapa induktor dihubungkan paralel seperti gambar diatas, bagaimana dengan ketiga drop tegangan masing-masing induktor ? dan bagaimana dengan arus yang melewatinya ?

Diskusikan bersama teman-temanmu, berikan deskrisi !

Turunkan formulasi untuk hubungan paralel induktor tersebut. Presentasikan di depan kelas bersama kelompokmu !

Tugas 15

Pengamatan 1

Sekarang kalian persiapkan peralatan dan bahan-bahan untuk melakukan pengamatan melalui percobaan berikut,

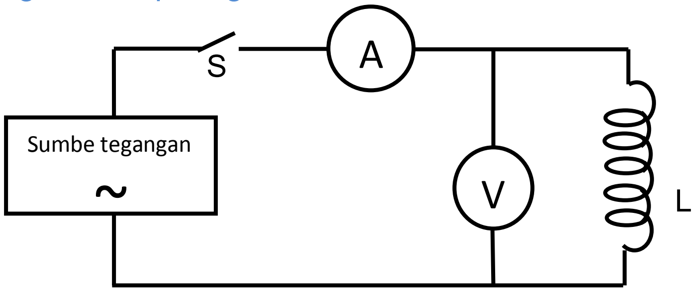
1. Ohmmeter... 1 buah
2. Voltmeter... 1 buah
3. Amperemeter.., 1 buah
4. Sumber tegangan AC variabel .... 1 buah
5. Induktor Dekade 10-50 mH.. 1 buah
6. Saklar kutub tunggal .... 1 buah
7. Kabel penghubung .... secukupnya

Untuk diperhatikan

1. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar
2. Dalam menggunakan meter kumparan putar (volt meter, ampermeter dan ohm meter), mulailah dari batas ukur yang besar.
3. Jangan meletakkan peralatanalat dan bahan ditepi meja.

Langkah Pengamatan

1. Buatlah rangkaian seperti gambar di bawah ini.



2. Aturlah sumber tegangan pada 0 volt dan saklar dibuka, induktor dekade diatur seperti Tabel dibawah
3. Tutuplah saklar S dan aturlah sumber tegangan sehingga amperemeter menunjukkan harga seperti pada Tabel dibawah
4. Catatlah harga penunjukkan Voltmeter dalam tabel pengamatan!
5. Bukalah saklar S
6. Ukurlah resistansi (R) induktor dengan ohmmeter.
7. Catatlah hasilnya dalam Tabel di bawah ini.
8. Ulangilah langkah kerja no. 4 s/d 8 untuk harga induktor seperti pada Tebel dibawah
9. Kembalikan semua peralatan dan bahan ke tempat semula

Tabel Data Hasil Pengamatan Kode Warna pada Kapasitor

No	Induktor (mH)	Harga Pengukuran			Harga Perhitungan		
		Tahanan (Ω)	Tegangan (Volt)	Arus (mA)	Impedansi Z (Ω)	Xl (Ω)	L (H)
1	10			1			
2	20			2			
3	30			3			
4	40			4			
5	50			5			

Harga frekuensi (f) = 50 Hz

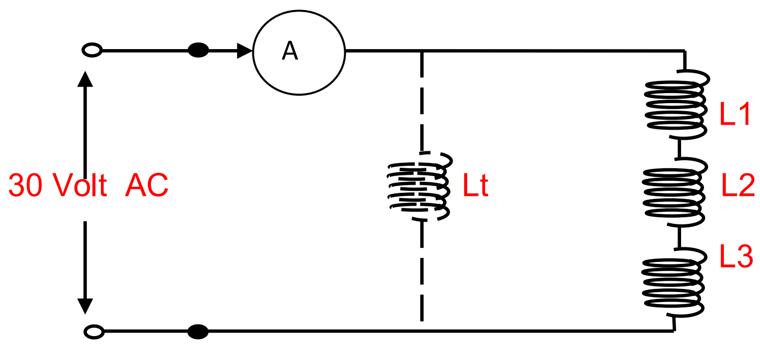
Review :

1. Bagaimanakah rumus mencari harga reaktansi induktif (XL) ?
2. Bagaimankah rumus mencari harga impedansi (Z) ?
3. Suatu induktor diberi sumber tegangan AC 100 Volt, arus yang mengalir 1 Ampere, jika diukur dengan Ohmmeter, induktor tersebut berharga 99 W. Jika frekuensi sumber 50 Hz, berapakah kapasitas induktansi L ?
4. Berapakah besarnya induksi diri sebuah induktor tunggal dengan jari-jari koker 0,5 cm sebanyak 100 lilitan dengan diameter kawat 1 mm?
5. Sebuah spull trafo IF radio listrik mempunyai data-data sebagai berikut, n = 100, d = 2 cm, h = 1 cm, l = 2 cm. Hitunglah besarnya nilai induksi diri.
6. Suatu induktor diberi sumber tegangan AC 100 Volt, arus yang mengalir 1 Ampere, jika diukur dengan Ohmmeter, induktor tersebut berharga 99 . Jika frekuensi sumber 50 Hz, berapakah kapasitas induktansi L ?

Tugas 16

Pengamatan 2

1. Susunlah rangkaian 3 buah induktor secara seri.



2. Lakukan pengamatan seperti berikut :

Catatan :

L1 = 10 Henry

L2 = 30 Henry

L3 = 50 Henry

AVO Meter 2 buah

Tabel pengamatan nilai induktasi

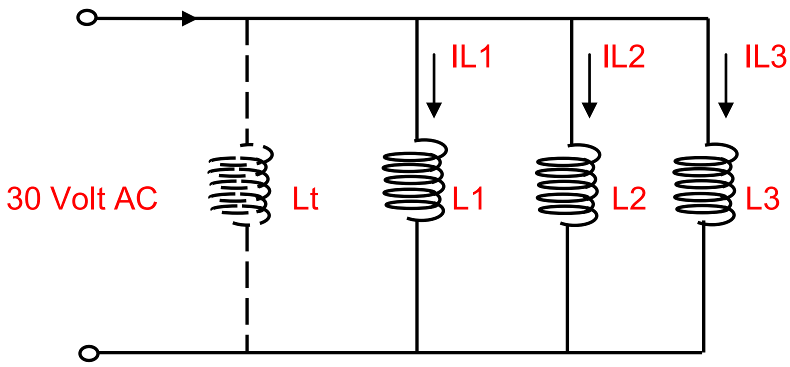
No	Induktor (mH)	Harga Pengukuran			Harga Perhitungan		
		Tegangan (Volt)	Arus (Amp)	Vt	Impedansi Z (Ω)	Xl (Ω)	L (H)
1	L1						
2	L2						
3	L3						
Harga frekuensi (f) = 50 Hz							

3. Dengan memberikan tegangan AC 30 Volt, ukur arus yang melewati ketiga induktor tesebut, catat pada tabel diatas !
4. Ukur tegangan jatuh pada masing-masing induktor L1, l2 dan L3. Catat pada tabel !
5. Berikan kesimpulan dari hasil pengamatan tersebut ! dan buat laporan pengamatannya !

Tugas 17

Pengamatan 3

Buatlah rangkaian 3 buah induktor secara paralel. Dengan memberikan tegangan AC 30 Volt, ukur arus yang melewati ketiga induktor L1, L2 dan L3 tesebut, catat pada tabel dibawah !



Dengan memberikan tegangan AC 30 Volt, ukur arus yang melewati ketiga induktor L1, L2 dan L3 tersebut, catat pada tabel dibawah !

Tabel pengamatan nilai induktasi

No	Induktor (mH)	Harga Pengukuran			Harga Perhitungan		
		I (Ampere)	Arus (Amp)	Vt	Impedansi Z (Ω)	Xl (Ω)	L (H)
1	L1						
2	L2						
3	L3						
Harga frekuensi (f) = 50 Hz							

Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan tersebut dan buat laporan pengamatannya !

Berfikir Kritis

Apa yang membedakan dan menjadi prinsif apabila suatu induktor di aliri sumber beri tegangan AC dan DC ? Diskusikan dan presentasikan didepan kelas per kelompok

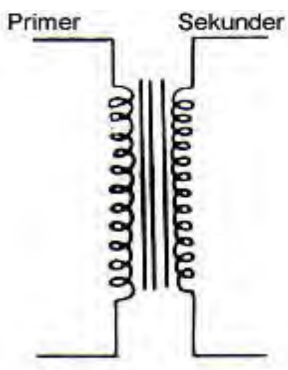
Tugas kelompok !

Carilah dengan kelompokmu, pembahasan mengenai pengaruh inti besi (material) terhadap induktansi suatu induktor di dalam suatu rangkaian. Lengkapi dengan gambar-gambar informatif untuk memperjelas pembahasan tersebut. Di tik pada kertas A4 dan serahkan pada guru untuk di nilai.

4. Transformator

Transformator (trafo) ialah alat listrik/elektronika yang berfungsi memindahkan tenaga (daya) listrik dari input ke output atau dari sisi primer ke sisi sekunder. Atau kalian ketahui juga bahwa gulungan primer itu adalah suatu gulungan yang menerima listrik dari luar , dan gulungan sekunder adalah suatu gulungan yang harus mengeluarkan tenaga listrik yang aliran dan tegangannya atau dayanya telah dirubah harganya. Pemindahan daya listrik dari primer ke sekunder disertai dengan perubahan tegangan baik naik maupun turun.

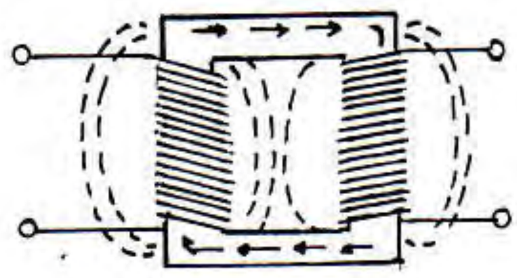
Ada dua jenis trafo yaitu trafo penaik tegangan (*step up transformer*) dan trafo penurun tegangan (*step down transformer*). Jika tegangan primer lebih kecil dari tegangan sekunder, maka dinamakan trafo *step up*. Tetapi jika tegangan primer lebih besar dari tegangan sekunder, maka dinamakan trafo *step down*.



Gambar 6.6 Simbol Trafo

Pada setiap trafo mempunyai input yang dinamai gulungan primer dan output yang dinamai gulungan sekunder. Trafo mempunyai inti besi untuk frekuensi rendah dan inti ferrit untuk frekuensi tinggi atau ada juga yang tidak mempunyai inti (intinya udara).

Primer



Sekunder

Gambar 6.7 Bagan Trafo yang dilalui Arus Listrik

Bila pada lilitan primer diberi arus bolak-balik (AC), maka gulungan primer akan menjadi magnit yang arah medan magnitnya juga bolak-balik. Medan magnit ini akan menginduksi gulungan sekunder dan mengakibatkan pada gulungan sekunder mengalir arus bolak-balik (AC). Dimisalkan pada gulungan primer mengalir arus berfasa positip (+), maka pada gulungan sekundernya mengalir arus berfasa negatip (-). Karena arus yang mengalir digulungan primer bolak-balik, maka pada gulungan sekunderpun mengalir arus bolak-balik. Besarnya daya pada lilitan primer sama dengan daya yang diberikan pada lilitan sekunder.

Jadi Pp = Ps atau Up.Ip = Us.Is

Dimana:

Pp = Daya primer dalam watt

Ps = Daya sekunder dalam watt

Up = Tegangan primer dalam volt

Us = Tegangan sekunder dalam volt

Ip = Arus primer dalam amper

Is = Arus sekunder dalam amper

Contoh:

Sebuah trafo daya dihubungkan dengan tegangan jala-jala 220 V, arus yang mengalir pada lilitan primer 0,2 amper. Jika tegangan sekundernya 12 V. Hitunglah besarnya arus sekunder.

Penyelesaian:

Up.Ip = Us.Is   220.0,2 = 12. Is Is = 44/12   Is = 3,66 amper

Perbandingan Transformasi:

Pada umumnya jumlah lilitan primer tidak sama dengan jumlah lilitan sekunder. Untuk trafo stepup jumlah lilitan primer lebih sedikit dari jumlah lilitan sekunder, sebaliknya untuk trafo stepdown jumlah lilitan primer lebih banyak dari jumlah lilitan sekunder. Banyaknya lilitan primer dan banyaknya lilitan sekunder menunjukkan besarnya tegangan primer dan besarnya tegangan sekunder. Semakin besar tegangannya semakin banyak pula lilitannya. Jadi banyaknya lilitan berbanding lurus dengan besarnya tegangan dimasing-masing sisi. Jika lilitan sekunder= Ns dan lilitan primer = Np, maka perbandingan jumlah lilitan primer dan lilitan sekunder disebut perbandingan transformasi dan dinyatakan dengan T = Np/Ns. Pada transformator berlaku persamaan: Up/Us = Np/Ns atau T = Up/Us

Berfikir Kritis

Sebuah trafo daya tegangan primernya 220 V, tegangan sekundernya 30 V. Jumlah lilitan primernya 1100 lilit. Hitunglah banyaknya lilitan sekundernya.

Coba kalian jawab soal tersebut, atau diskusikan bersama kelompokmu, jika sudah dijawab perlihatkan kepada gurumu.

Pada teknik elektronika dikenal bermacam-macam trafo, baik untuk frekuensi tinggi maupun frekuensi rendah. Contoh trafo untuk frekuensi tinggi yaitu trafo osilator, trafo frekuensi menengah (IF), trafo spull antena (*tuner*). Sedangkan trafo yang dipakai untuk frekuensi rendah yaitu trafo input, trafo output, trafo *filter* (*choke*).

Tugas kelompok !

Kalian tahu dari mana turunan formulasi tersebut ? coba kalian diskusikan bersama kelompokmu, dan presentasikan didepan kelas !

Untuk diuketahui :

Coba kalian diskusikan, titik-titik percabangan gulungan untuk menerima tegangan berapa saja yang ada pada trafo bagian primer pada umumnya ? dan titik percabangan gulungan tegangan berapa saja yang ada di bagian sekundernya ?

Review :

Ukurlah tegangan sekunder trafo 220 V/12 V, bandingkan hasilnya dengan angka yang tertera pada labelnya.

Kerugian-kerugian dalam transformator

Besarnya hambatan listrik dari gulungan kawat transformator ditentukan oleh panjang, tebal kawat,dan perlawanan jenis dari kawat tersebut. Cara untuk menghitung besarnya hambatan dari kawat-kawat tembaga adalah dengan menggunakan rumus :

$$R = \frac{\rho . P}{0,785\ d^2} \quad \text{.............................. 1}$$

Dimana :

R = Hambatan (Ohm)

ρ = hambatan jenis tembaga (0,0175)

P = panjang kawat (meter)

D = diameter tebalkawat (mm)

Kehilangan tegangan didalam kawat tembaga

Didalam kawat tembaga yang dilalui oleh aliran listrik selalu akan menimbulkan kerugian-kerugian tegangan pada ujung-ujung kawat tersebut. Terlebih bila ransformator tersebut berada dalam keadaan termuat penuh, maka transfofmator itu akan mengalirkan aliran sekunder yang besar. Aliran sekunder ini tentunya mengakibatkan teganngan-tegangan pada kawat-kawat itu, tegangan-tegangan inilah yang dinamakan tegangan hilang Eɽ, yang biasa dinamakan kerugian-kerugian di dalam kawat tembaga.

Kerugian-kerugian tegangan Eɽ itu dapa dihitung dengan menggunakan rumus :

Eɽ = I X R

Untuk mengetahui besarnya penahan R didalam kawat-kawat tembaga (Cu) terlebih dahulu harus dihitung panjangnya kawat didalam tiap-tiap gulungan. Dan untuk menhitung itu harus melihat daftar *X lajur delapan*, yaitu untuk mengetahui panjangnya kawat gulungan.

Pada lajur delapan diterangkan mengenai panjangnya kawat gulungan, karena gulungan-gulungan kawat itu digulung secara beraturan, yaitu gulungan yang bertegangan tinggi digulung dibagian bawah dan yang bertegangan rendah digulung dibagian atasnya, maka di dalam daftar dikenal dengan penetapan Im1 ; Im2 dan Im3. Dimana Im1 berlaku untuk gulungan primer, (menurut daftar, Im1 adalah 14,13 cm), untuk gulungan sekunder S1 yang digulungkan di bagian atasnya gulungan primer ini ditetapkan Im2 = 15,86 cm, dan untuk gulungan sekunder untuk S2 dan S3 yang terletak dibagian atasnya ditetapkan harga untuk Im = 17,59 cm. Dengan terdapatnya bilangan-bilangan tersebut, maka kita dapat menghitung panjangnya kawat dari tiap-tiap gulungan dengan rumus ;

Panjang kawat = Im X N

Tabel 6.1Tembaga dengan jumlah gulungan per cm

Diameter tanpa isolasi	Diameter dengan isolasi	Ohm per 1 kg	Kilogram per 100 m	Jumlah gulungan per cm
0,10	0,20	24500	0,0093	2070
0,20	0,30	1765	0,0322	940
0,30	0,40	365	0,0692	540
0,40	0,52	118,4	0,1203	325
0,50	0,62	29,15	0,1853	231
0,60	0,72	23,86	0,2645	172
0,70	0,82	13	0,357	134
0,80	0,92	7,64	0,465	108
0,90	1,02	4,81	0,585	88
1,0	1,12	3,16	0,721	73,5
1,2	1,32	1,526	1,035	32,5
1,5	1,62	0,627	1,610	26

1,7	1,85	0,381	2,065	28
2,0	2,15	0,2	2,850	21

Panjang kawat dapat dihitung berdasarkan jumlah gulungan, panjang kawat dari gulungan primer :

Pp = 14,13 x 580 = 81,954 meter = 82 meter

Panjang kawat dari gulungan sekunder tegangan tinggi

Ps1 = 2 x 15,86 x 1581 = 2 x 250,8 meter

Panjang kawat dari gulungan sekunder tegangan rendah yang pertama :

Ps2 = 17,59 x 26,5 = 4,66135 = 4,66 meter = 4,7 meter

Panjang kawat dari gulungan sekunder tegangan rendah yang kedua

Ps3 = 17,59 x 31,75 = 5584825 = 5,58 meter = 5,6 meter.

Untuk mengetahui besarnya hambatan listrik dari kawat-kawat tembaga gulungan tersebut, dapat menggunakan rumus (1),

$$Rs1 = \frac{0,0175 \times 250,8}{0,785 \times 0,04} = 140 \text{ Ohm}$$

$$Rs2 = \frac{0,0175 \times 4,7}{0,785 \times 0,81} = 0,13 \text{ Ohm}$$

$$Rs3 = \frac{0,0175 \times 5,6}{0,785 \times 0,81} = 0,15 \text{ Ohm}$$

Kerugian tegangan yang diakibatkan oleh aliran sekunder maksimal itu memberikan pengaruh terhadap besarnya randemen.

Eɼ dari gulungan sekunder tegangan tinggi S1 adalah 0,05 x 140 = 70 Volt

Eɼ dari gulungan tegangan rendah S2 adalah 2 x 0,13 = 0,26 Volt

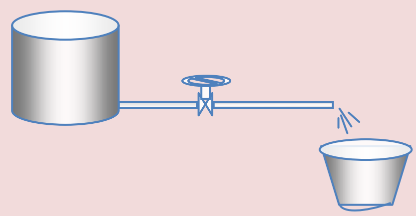
Eɼ dari gulungan sekunder tegangan rendah S3 adalah 2 x 0,15 = 0,30 Volt.

Tugas 18

Konstanta waktu = R . C

Waktu yang diperlukan untuk mengisi sebuah kapasitor sampai penuh hingga tegangannya sama dengan catu daya adalah berbanding lurus dengan nilai kapasitansi dan harga resistansi dalam sirkit itu sendiri.

Perhatikan gambar berikut , apa maksud dari gambar tersebut dan apa relevansinya dengan topik diatas ? jelaskan oleh kalian !



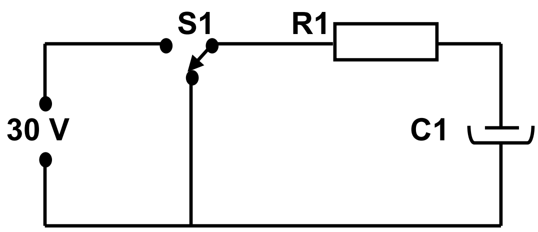
Pengayaan :

Untuk lebih memahami mengenai konstata waktu yang dipengaruhi oleh nilai hambatan dengan kapasitansi dari sebuah kapasitor, coba kalian adakan pengamatan melalui percobaan berikut :

Siapkan peralatan dan bahan yang diperlukan ;

1. Catu daya variabel
2. Papan eksperimen
3. Voltmeter
4. Stop watch
5. Saklar SPDT
6. Kapasitor 1 μF, 10 μF (2 buah)
7. Resistor 1,2 M Ω, 2,2 MΩ, 4,7 MΩ
8. Kabel penghubung

Buatlah susunan rangkaian berikut :



Hitung dan catat konstanta waktu rangkaan ini dan catat waktu yang dibutuhkan untuk mengiai kapasitor sampai penuh.

Atur tegangan catu daya pada 40 volt. Tutup switch dan catat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi kapasitor sampai penuh. Buka switch S1, kemudian kosongkan kapasitor melalui resistor dalam rangkaian, catat waktu yang diperlukan untuk mengosongkan kapasitor sampai habis. Gantilah kapasitor dengan 10 μF. Ulangi langkah-langkah tadi. Tambahkan kapasitor 10 μF menjadi hubungan paralel, ulangi kembali langkah-langkahnya seperti semula.

Kembalikan kembali C1 ke nilai asalnya (1 μF), gantilah resistor dengan 2,2 M Ohm dan 4,7 M Ohm berturut-turut untuk R1, ulangi lagi langkah-langkahnya.

Buat kesimpulan dari percobaan ini dan laporkan kepada guru untu mendapat penilaian

Review

Kalian jelaskan prinsip kerja dari rangkaian RC tersebut di depan kelas!

Tugas 19

Jaringan Kerja RC terhadap Frekuensi respon

Jaringan RC banyak dipakai dalam pemindahan sinyal AC dari sebuah penguat (Amplifier) tingkat pertama ke tingkat berikutnya. Kapasitas C berfungsi sebagai penyekat agar catu daya ke dua tingkat penguat tersebut tidak saling mempengaruhi, sebaliknya kapasitor harus melewatkan sinyal AC-nya. Cara penggandengan ini sangat praktis dan ekonomis. Kerugian cara penggandengan ini ini adalah reaksi kapasitif berubah-ubah berbanding terbalik dengan frekuensi sinyal.

Jaringan kerja ini merupakan suatu pembagi (volt devider).

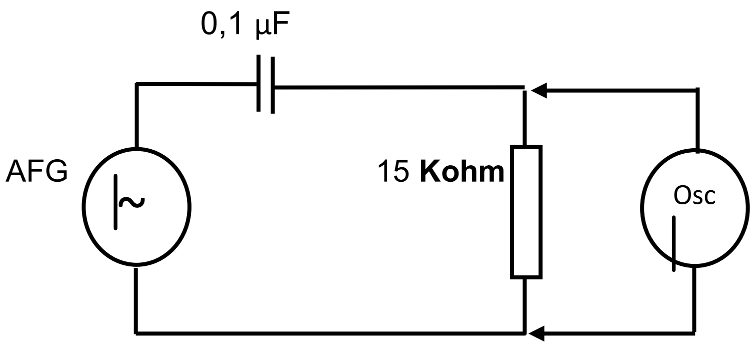
Dalam percobaan ini kalian akan mengetahui dan membuktikan bahwa adanya pembatasan frekuensi (frekuensi spektrum) tertentu yang dapat dilewatkan pada jaringan kerja RC.

Untuk itu silahlan kalian persiapkan peralatan dan bahan –bahan yang dibutuhkan untuk pelaksanaan pengamatan dalam membuktikan jaringan kerja RC tersebut.

Peralatan dan bahan

1. AF Generator
2. Oscilloscope
3. Kapasitor 0,1 μF dan 0,01 μF
4. Resistor 15 Kohm
5. Kawat penghubung

Susunlah rangkaian seprti di bawah ini :



Tempatkan level output AFG pada minimum, Att pada rol 0 dB. Setting Oscilloscope pada operasi normal, lalu hidupkan (ON) dan atur level output AFG dan ukur dengan oscillocope untuk V in = 5 Vp-p/20 Hz. Dan catat hasil pengamatannya pada tabel untuk setiap perubahan frekuensi :

Frekuensi	Vin = 5 Vp-p (konstan)	Vout (Vp-p)	
		C = 0,1μF	C = 0,01 μF
20 Hz			
50 Hz			
100 Hz			
250 Hz			
750 Hz			
1 K Hz			
2 K Hz			
4 K Hz			
6 K Hz			
8 K Hz			
10 K Hz			

Frekuensi	Vin = 5 Vp-p (konstan)	Vout (Vp-p)	
		C = 0,1μF	C = 0,01 μF
15 K Hz			
20 K Hz			
50 K Hz			
75 K Hz			
100 K Hz			
125 K Hz			
150 K Hz			
175 K Hz			
200 K Hz			

Kembalikan semua peralatan dan bahan pada tempat semula.

Jika kalian sudah menyelesaikan pengamatan ini, kalian buat grafik frekuensi respon pada kertas grafik (semi Log) dengan frekuensi pada sumbu mendatar dan V out pada sumbu tegak. Buat kesimpulannya pada buku laporan kegiatan praktikum kalian.

Review

Coba kalian tuliskan daerah frekuensi yang rata pada kertas grafik yang telah dibuat !. Dan mengapa terjadi penurunan tegangan pada daerah frekuensi yang rendah ? Jelaskan !

Tugas 20

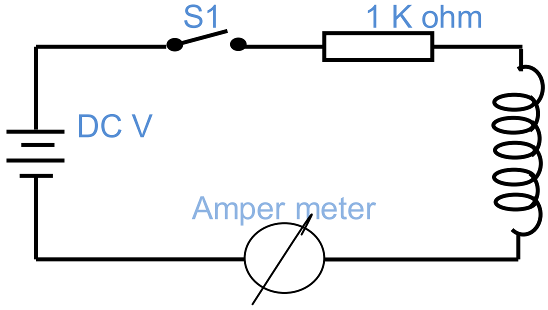
Konstanta waktu kumparan (R-L)

Apabila sebuah kumparan dihubungkan kepada sumber tegangan arus searah (DC), maka pada kumparan akan terjadi induksidiri. Dan induksidiri ini akan membangkitka gaya elektromotor lawan. Karena itu kuat arus yang mengalir tidak dapat dengan seketika mencapai hanya maksimumnya. Diperlukan waktu 5 L-R detik bagi arus untuk mencapai maksimum.

Untuk membuktikan pembahasan diatas kalian harus mencoba mengadakan pengamatan melalui eksperimen berikut :

1. Siapkan 5 buah induktror dekade 10 – 50 mH
2. Resistor 1 K ohm
3. Sumber tegangan DC Variabel
4. Satu buah saklar
5. Papan percobaan

Buatlah rangkaian seperti dibawah ini :



Kalian lakukan langkah pengamatan seperti berikut :

1. Set/putar sumber tegangan, kemudian tutup saklar S1 sehingga ampermeter menunjuk 0,2 mA (seperti pada tabel).
2. Ukur tegangan induktor hingga mencapai tegangan maksimal padanya. Catat pada tabel !
   Catatan : perhatikan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai maksimum pada induktor dengan stop watch. Catat waktunya pada tabel
3. Ukur pula tegangan resistor 1 K Ohm, catat pula pada tabel !
4. Buka kembali S1. Ukur resistansi (R) induktor dengan ohm meter. Catat hasilnya dalam tabel

Tabel Pengukuran R-L

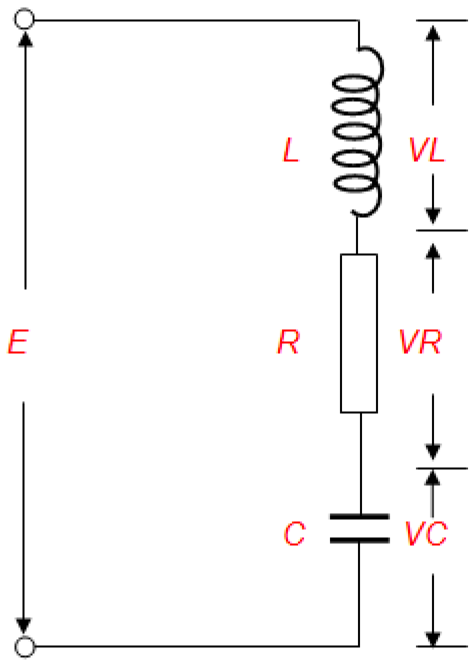
No	L	Harga pengukuran					Harga perhitungan			
		RL (Ω)	VL (volt)	IL (mA)	VR (volt)	T (detik)	ZL (Ω)	XL (Ω)	L (H)	VR (volt)
1	10									
2	20									
3	30									
4	40									
5	**50**									

Berikan kesimpulan dari hasil pengamatan kalian, gambarkan pula grafik (gabungan beberapa nilai induktor) dari hasil pengamatan tersebut, yang

menyatakan hubungan antara arus yang melewati induktor dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan maksimal pada masing-masing induktor

Dari hasil pengamatan diatas. Coba kalian perhatikan saat atau setiap kali switch S1 pada setiap nilai induktasi (L) yang berbeda-beda, apa yang terjadi pada tegangan induktor ? deskripsikan oleh kalian kemudian presentasikan di depan kelas, buat karakteristik grafiknya agar lebih informatif dan jelas

L-R-C seri (dengan) tegangan AC



- $Z = \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$
- $VL : VR : VC = XL : XR : XC$

Dalam resonansi (di mana terjadi XL = XC), maka :

- $Z = R$ (= minimum)
- $E = VR$ (= minimum, sebab $VL = -VC$

Juga $Q = \frac{XL}{R}$

$= \frac{XC}{R}$

$= \frac{L}{C.R^2} = \frac{1}{R}\sqrt{L/C}$

- $F_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$

Frekuensi resonansi terjadi pada rangkaian R-L-C yang diberi tegangan AC, dan resonansi terjadi pada saat *XL = XC*, impedansi *(Z)* sama dengan *R*. *Vt = V sumber - VR*, arus dan tegangan sephasa dan rangkaian bersifat Resistif. Kapasitor mempunyai sifat pada frekuensi rendah nilai *XC tinggi*, dan pada frekuensi tinggi nilai *XC rendah.* Sedangkan induktor

mempunyai sifat kebalikannya dari kapasitor. Hal ini dinyatakan dengan rumus ;

$$XC = \frac{1}{2\pi f.c} = \text{..........}\ \text{Ohm}$$

$$XL = 2\pi f.L = \text{..........}\ \text{Ohm}$$

$$Q = \frac{XL}{R}$$

$$Q = \frac{EL}{ER}$$

$$F1 = FR - \frac{BW}{2}$$

$$F2 = FR - \frac{BW}{2}$$

IF1 atau IF2 = 0,707 ⟺ Imax pada FR

$$BW = \frac{FR}{Q}$$

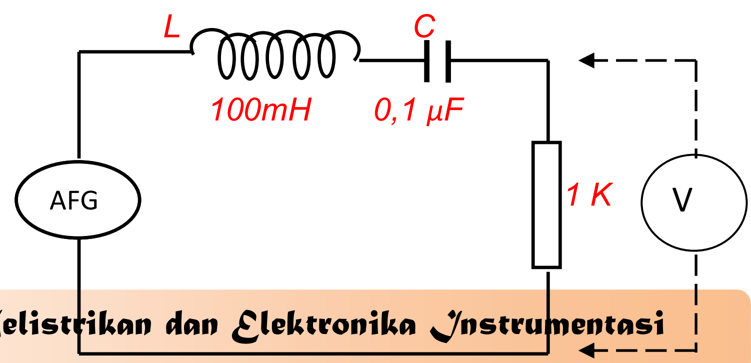
Tugas 21

Siapkan peralatan dan bahan ;

1. Trainner El- Dasar
2. Volt meter
3. Osciloscope
4. AF Generator
5. L = 100 mH, C = 0,1 μF, R = 1 K Ohm
6. Kabel penghubung

Prosedur Pengamatan

1. Buatlah rangkaian seperti berikut :



2. Pasangkan AF Generator, atur level tegangan output 5 Vp-p, hubungkan pada input rangkaian.
3. Tempatkan Vout Oscilloscope pada R = 1 K ohm (RL).
4. Hitung frekuensi respon dengan data-data komponen yang dipakai dalam rangkaian.

$$FR = \frac{1}{2\pi CL} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

5. Tulis hasil pengamatan pada tabel
6. Atur frekuensi output dari AFG seperti pada tabel, dan lakukan pengukuran tegangan output untuk setiap perubahan frekuensi.

Tabel Pengukuran

F (Hz)	F nyata (Hz)	VR (volt)	VXL (volt)	VXC (volt
200				
350				
500				
0,8 K				
0,9 K				
0,95 fr				
1 fr				
1,05 fr				
1,1 fr				
1,2 fr				
1,5 fr				
15 K				
20 K				

7. Dari hasil pengamatan percobaan buatlah kurva karakteristik tegangan sebagai fungsi dari frekuensi

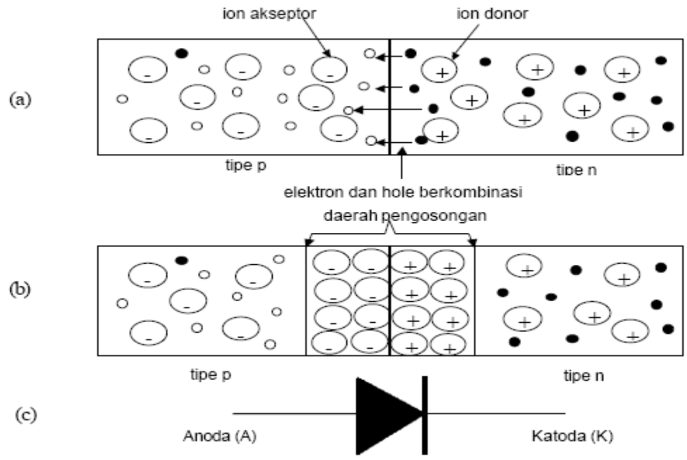
8. Hitunglah lebar bidang (band with) nya
9. Bandingkan frekuensi hasil pengamatan (pengukuran dengan hasil perhitungan.
10. Matikan sumber tegangan dari rangkaian, kembalikan semua peralatan dan bahan ketempat semula.
11. Buat kesimpulan dari hasil pengamatan dan laporkan ke pada gurumu.

BAB 7
Dioda

1. Dioda Semikonduktor

Dioda semikonduktor dibentuk dengan cara menyambungkan semikonduktor type p dan type n. Pada saat terjadinya sambungan (junction) **p** dan **n**, hole-hole pada bahan **p** dan elektron-elektron pada bahan **n** disekitar sambungan cenderung untuk berkombinasi. Hole dan elektron yang berkombinasi ini saling meniadakan, sehingga pada daerah sekitar sambungan ini kosong dari pembawa muatan dan terbentuk daerah pengosongan (deplection region).

Oleh karena itu pada sisi **p** tinggal ion-ion akseptor yang bermuatan negatip dan pada sisi **n** tinggal ion-ion donor yang bermuatan positip.
Namun proses ini tidak berlangsung terus, karena potensial dari ion-ion positip dan negatip ini akan mengahalanginya. Tegangan atau potensial ekivalen pada daerah pengosongan ini disebut dengan tegangan penghalang (barrier potential). Besarnya tegangan penghalang ini adalah 0.2 untuk germanium dan 0.6 untuk silikon. Lihat Gambar......

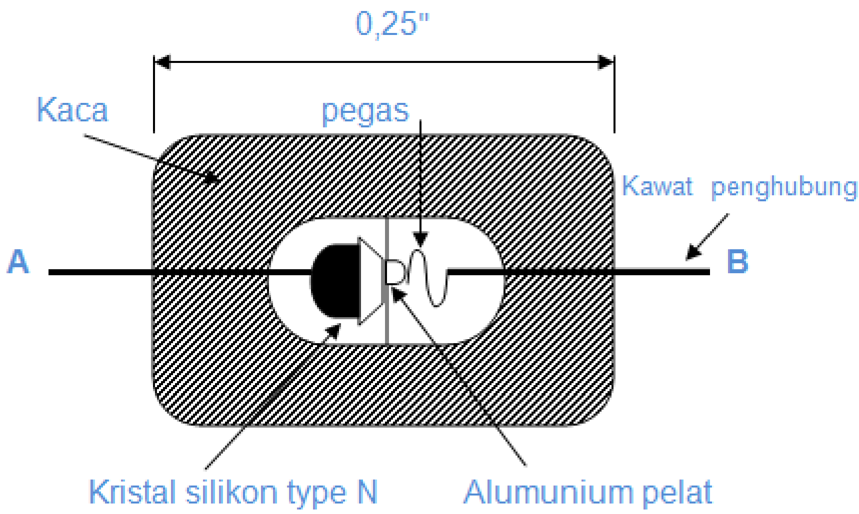


Gambar 7.1 Struktur Dioda Semikonduktor
(a) Pembentukan Sambungan; (b) Daerah Pengosongan; (c) Simbol Dioda

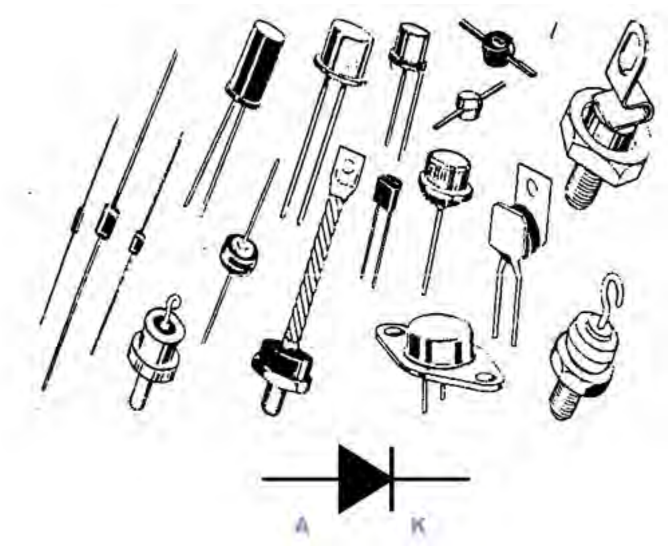
Sebelum membahas tentang dioda, kalian pelajari dahulu tentang PN-Junction. (apa itu PN-Junction ?.Sebagai tugas awal, coba kalian cari tahu tentangnya.

Junction dioda atau dioda semikonduktor pada hakekatnya adalah PN-Junction. Karakteristik pokok yang dimiliki oleh dioda semikonduktor adalah sifatnya yang tidak simetri, maksudnya arus yang mengalir melewati dioda pada arah tertentu jauh lebih kecil dari pada arus yang mengalir pada arah yang berlawanan. Oleh karena sifatnya ini maka dalam pemakaian banyak digunakan sebagai perata arus.

Gambar berikut menunjukan konstruksi suatu junction dioda, beberapa bentuk fisik dan simbul dari suatu dioda.



Gambar 7.2 Konstruksi junction dioda



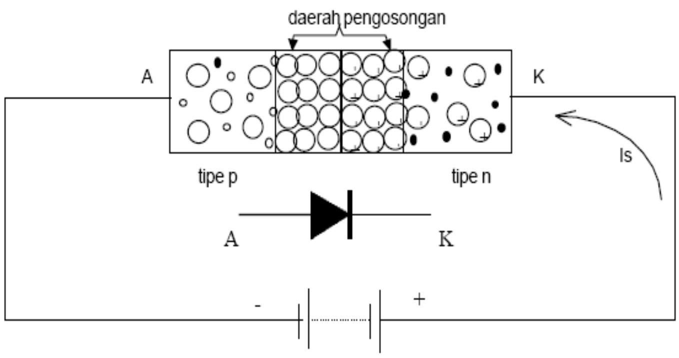
Gambar 7.3 Berapa bentuk fisik dan simbul dioda

Ujung A pada gambar konstruksi dioda berhubungan dengan daerah P dan ujung B berhubungan denfan daerah N dari dioda tersebut. Karena

elektron mengalir dari daerah N menuju daerah P. Daerah N (ujung B) disebut Katoda dan daerah P (ujung A) disebut Anoda.

a. Bias Mundur (Reverse Bias)

Bias mundur adalah pemberian tegangan negatip baterai ke terminal anoda (A) dan tegangan positip ke terminal katoda (K) dari suatu dioda. Dengan kata lain, tegangan anoda katoda VA-K adalah negatip (VAK < 0). Gambar 10 menunjukkan dioda diberi bia mundur.



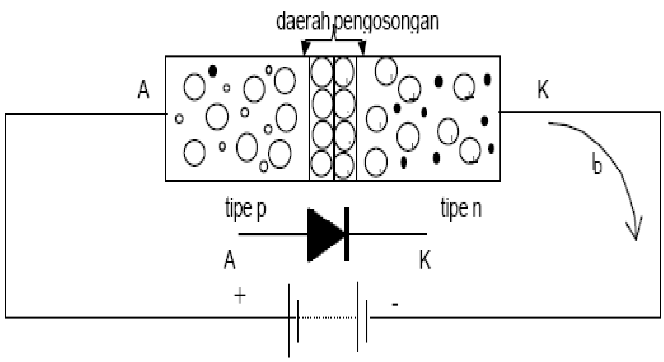
Gambar 7.4 Dioda diberi reverse bias

Karena pada ujung anoda (A) yang berupa bahan tipe p diberi tegangan negatip, maka hole-hole (pembawa mayoritas) akan tertarik ke kutup negatip baterai menjauhi persambungan. Demikian juga karena pada ujung katoda (K) yang berupa bahan tipe n diberi tegangan positip, maka elektron-elektron (pembawa mayoritas) akan tertarik ke kutup positip baterai menjauhi persambungan. Sehingga daerah pengosongan semakin lebar, dan arus yang disebabkan oleh pembawa mayoritas tidak ada yang mengalir. Sedangkan pembawa minoritas yang berupa elektron (pada bahan tipe p) dan hole (pada bahan tipe n) akan berkombinasi sehingga mengalir arus jenuh mundur (reverse saturation current) atau Is. Arus ini dikatakan jenuh karena dengan cepat mencapai harga maksimum tanpa dipengaruhi besarnya tegangan baterai. Besarnya arus ini dipengaruhi oleh temperatur. Makin tinggi temperatur, makin besar harga Is. Pada

suhu ruang, besarnya Is ini dalam skala mikro-amper untuk dioda germanium, dan dalam skala nano-amper untuk dioda silikon.

b. Bias Maju (Foward Bias)

Apabila tegangan positip baterai dihubungkan ke terminal Anoda (A) dan negatipnya ke terminal katoda (K), maka dioda disebut mendapatkan bias maju (foward bias). Dengan demikian VA-K adalah positip atau VA-K > 0. Gambar 11 menunjukan dioda diberi bias maju. Dengan pemberian polaritas tegangan seperti pada Gambar 7.5, yakni VA-K positip, maka pembawa mayoritas dari bahan tipe p (hole) akan tertarik oleh kutup negatip baterai melewati persambungan dan berkombinasi dengan elektron (pembawa mayoritas bahan tipe n). Demikian juga elektronnya akan tertarik oleh kutup positip baterai untuk melewati persambungan. Oleh karena itu daerah pengosongan terlihat semakin menyempit pada saat dioda diberi bias maju. Dan arus dioda yang disebabkan oleh pembawa mayoritas akan mengalir, yaitu ID.

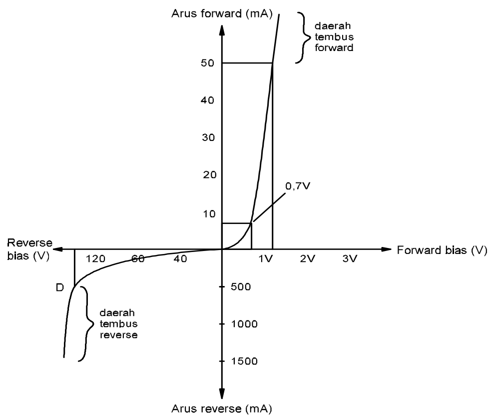


Gambar 7.5 Dioda diberi forward bias

Sedangkan pembawa minoritas dari bahan tipe p (elektron) dan dari bahan tipe n (hole) akan berkombinasi dan menghasilkan Is. Arah Is dan ID adalah berlawanan. Namun karena Is jauh lebih kecil dari pada ID, maka secara praktis besarnya arus yang mengalir pada dioda ditentukan oleh ID.

2. Kurva Karakteristik Dioda

Hubungan antara besarnya arus yang mengalir melalui dioda dengan tegangan VA-K dapat dilihat pada kurva karakteristik dioda (Gambar ..... yang menunjukan dua macam kurva, yakni dioda germanium (Ge) dan dioda silikon (Si). Pada saat dioda diberi bias maju, yakni bila VA-K positip, maka arus ID akan naik dengan cepat setelah VA-K mencapai tegangan cut-in (V□). Tegangan cut-in (V□) ini kira-kira sebesar 0.2 Volt untuk dioda germanium dan 0.6 Volt untuk dioda silikon. Dengan pemberian tegangan baterai sebesar ini, maka potensial penghalang (barrier potential) pada persambungan akan teratasi, sehingga arus dioda mulai mengalir dengan cepat.



Gambar 7.6 Kurva karakteristik dioda

Bagian kiri bawah dari grafik pada Gambar 7.6 merupakan kurva karakteristik dioda saat mendapatkan bias mundur. Disini juga terdapatdua kurva, yaitu untuk dioda germanium dan silikon. Besarnya arus jenuhmundur (reverse saturation current) Is untuk dioda germanium adalahdalam orde mikro amper dalam contoh ini adalah 1 μA. Sedangkan untukdioda silikon Is adalah dalam orde nano amper dalam hal ini adalah 10 nA.

Apabila tegangan VA-K yang berpolaritas negatip tersebut dinaikkaterus, maka suatu saat akan mencapai tegangan patah (breakdown)dimana arus Is akan naik dengan tiba-tiba. Pada saat mencapaitegangan break-down ini, pembawa minoritas dipercepat hingga mencapai kecepatan yang cukup tinggi untuk mengeluarkan elektron valensi dari atom. Kemudian elektron ini juga dipercepat untuk membebaskan yang lainnya sehingga arusnya semakin besar. Pada

dioda biasa pencapaian tegangan break-down ini selalu dihindari karena dioda bisa rusak.

Hubungan arus dioda (ID) dengan tegangan dioda (VD) dapatdinyatakan dalam persamaan matematis yang dikembangkan oleh W.Shockley, yaitu:

$$ID = Is\ [e(VD/n.VT) - 1]$$

dimana:

ID = arus dioda (amper)

Is = arus jenuh mundur (amper)

e = bilangan natural, 2.71828...

VD = beda tegangan pada dioda (volt)

n = konstanta, 1 untuk Ge; dan ≈ 2 untuk Si

VT = tegangan ekivalen temperatur (volt)

Harga Is suatu dioda dipengaruhi oleh temperatur, tingkat doping dan geometri dioda. Dan konstanta n tergantung pada sifa konstruksi dan parameter fisik dioda. Sedangkan harga VT ditentukan dengan persamaan:

$$VT = \frac{kT}{q}$$

dimana:

k = konstanta Boltzmann, 1.381 x 10-23 J/K

(J/K artinya joule per derajat kelvin)

T = temperatur mutlak (kelvin)

Q = muatan sebuah elektron, 1.602 x 10-19 C

Pada temperatur ruang, 25 oC atau 273 + 25 = 298 K, dapat dihitung besarnya VT yaitu:

$$VT = \frac{(1{,}381\ x\ 10_{-23} J/K)(298K}{1{,}602\ x\ 10_19C}$$

$= 0.02569$ J/C

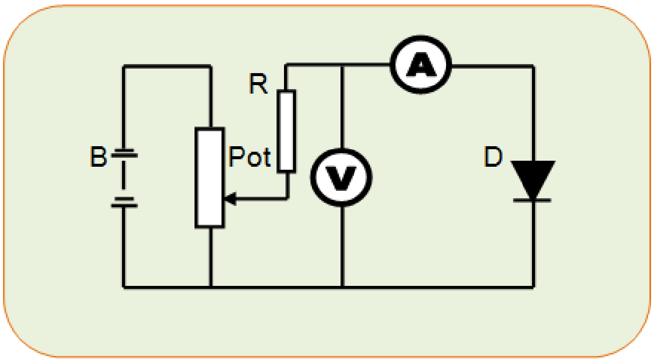
$\cong 26$ mV

Harga VT adalah 26 mV ini perlu diingat untuk pembicaraan selanjutnya. Sebagaimana telah disebutkan bahwa arus jenuh mundur, Is, dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: doping, persambungan, dan temperatur. Namun karena dalam pemakaian suatu komponen dioda, faktor doping dan persambungan adalah tetap, maka yang perlu mendapat perhatian serius adalah pengaruh temperatur.

3. Karakteristik Dioda

Tugas 22

Karakteristik dioda pada garis besarnya dapat dibedakan atas karakteristik ***forward*** dan karakteristik ***reverse.*** Untuk mengetahui karakteristik dioda yang menunjukan besarnya arus pada bermacam-macam harga tegangan yang diberikan, coba kalian rangkai seperti gambar rangkaian dioda ***forward*** berikut :



Gambar 7.7 Rangkaian dioda forward



Percobaan dengan rangkaian ini terdiri dari dua bagian, bagian pertama untuk mendapatkan karakteristik forward dan kedua untuk karakteristik reverse. Bagian pertama memerlukan tahanan R = 50 Ohm yang terpasang seri dengan dioda dan tegangan maksimum yang diperbolehkan pada rangkaian adalah 1,5 Volt DC. Coba kalian diskusikan, fungsi dari tahanan dalam rangkaian tersebut dan mengapa tegangan maksimum yang diperbolehkan harus 1,5 Volt ?.

Bersama kelompoknya masing-masing, eksperimenkan rangkain tersebut diatas melalui langkah-langkah seperti berikut :

1. Naikan tegangan secara bertahap mulai dari 0 (nol) sampai 1,5 Volt dengan selang kenaikan 0,1 Volt
2. Ukur arus yang ditunjukan oleh mA, dan masukan hasil pengamatannya pada tabel 7.1.

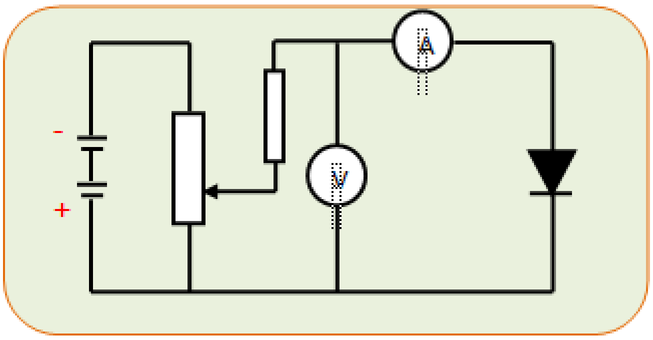
Tabel Karakteristik forward dioda

Teganan (Volt)	Arus forward dioda (mA)	Tegangan R (Volt)
0		
0,1		
0,2		
....		
....		
....		
....		
....		
....		
...		
....		
....		
.....		
....		
....		
....		

1,5		

3. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan tersebut dan gambarkan bentuk grafik karakteristiknya dalam kertas grafik !

Selanjutnya, untuk melakukan pengamatan karakteristik dioda ***reverse,*** kalian hanya membalikan polaritas dari sumber tegangan atau baterai.



Gambar 7.8 Rangkaian dioda reverse bias

Untuk percobaan yang kedua ini diperlukan sumber tegangan yang lebih besar ialah sekitar 10 Volt DC.

Untuk perhatian !. Hati-hati didalam menggunakan multitmeter, terutama dalam menentukan batas ukur !!.

Lakukan kembali pengamatan karakteristik dioda ini dengan menaikan tegangan secara bertahan dengan interval 1 volt. Kemudian catat arus reverse-nya setiap kenaikan tegangan, dan catat hasilnya pada tabel dibawah.

Tabel Karakteristik reverse dioda

Teganan (Volt)	Arus reverse dioda (µ Amper)	Tegangan R (Volt)

1		
2		
....		
....		
....		
....		
.....		
.....		
.....		
.....		
10		

Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan tersebut dan gambarkan pada kertas grafik bentuk karakteristiknya !

Tugas !

Kerjakanlah pengamatan berikutnya dengan menggunakan dioda **germanium, Zener** dan lakukan langkah-langkahnya seperti pengamatan sebelumnya. Catat hasil pengamatannya, buat kesimpulan selengkap mungkin disertai gambar karakteristiknya ! buat hasil pengamatan dalam bentuk laporan !

Review :

Dari hasil pengamatan (data-data yang diperoleh pada tabel) berapakah tegangan resistor hasil perhitungan pada setiap kenaikan tegangan, baik untuk dioda silikon, germanium maupun zener ?

Apa fungsi dari ketiga jenis dioda tersebut dalam rangkaian elektronika ?

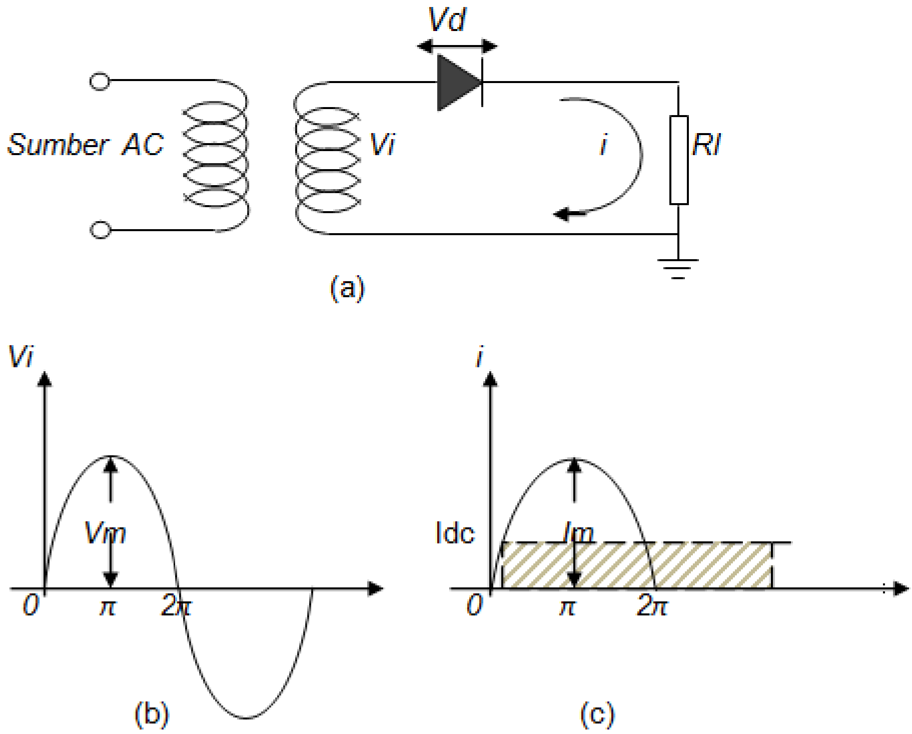
4. Penggunaan Dioda

1. Penyearah Setengah Gelombang

Dioda semikonduktor banyak digunakan sebagai penyearah.Penyearah yang paling sederhana adalah penyearah setengah gelombang, yaitu yang terdiri dari sebuah dioda. Melihat dari namanya,maka hanya setengah gelombang saja yang akan disearahkan. Gambar...menunjukkan rangkaian penyearah setengah gelombang. Rangkaian penyearah setengah gelombang mendapat masukandari skunder trafo yang berupa sinyal ac berbentuk sinus, vi = Vm Sin wt (Gambar 7.9 (b)). Dari persamaan tersebut, V merupakan tegangan puncak atau tegangan maksimum. Harga Vm ini hanya bisa diukur dengan CRO yakni dengan melihat langsung pada gelombangnya. Sedangkan pada umumnya harga yang tercantum pada skunder trafo adalah tegangan efektif. Hubungan antara tegangan puncap Vm dengan tegangan efektif (*Veff*) atau tegangan rms (*Vrms*) adalah:

$$Veff = Vrms = \frac{Vm}{\sqrt{2}} = 0.707\ Vm$$

Tegangan (arus) efektif atau rms (root-mean-square) adalah tegangan (arus) yang terukur oleh voltmeter (amper-meter). Karena harga Vm pada umumnya jauh lebih besar dari pada Vg (tegangan cut-in dioda), maka pada pembahasan penyearah ini $V\gamma$ diabaikan.Prinsip kerja penyearah setengah gelombang adalah bahwa pad saat sinyal input berupa siklus positip maka dioda mendapat bias maj sehingga arus (i) mengalir ke beban (RL), dan sebaliknya bila sinyal inpu berupa siklus negatip maka dioda mendapat bias mundur sehingga tidak mengalir arus. Bentuk gelombang tegangan input (vi) ditunjukkan pada (b) dan arus beban (i) pada (c) dari Gambar 7.9.



Gambar 7.9 Penyearah Setengah Gelombang (a) Rangkaian; (b) Tegangan Skunder Trafo; (c) Arus Beban

Arus dioda yang mengalir melalui beban RL (i) dinyatakan dengan:

$$i = Im \sin \omega t \text{ ,jika } 0 \leq \omega t \leq \pi \text{ (siklus positip)}$$

$$i = 0 \text{ ,jika } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \text{ (siklus negatip)}$$

dimana:

$$Im = \frac{Vm}{Rf + Rl}$$

Resistansi dioda pada saat ON (mendapat bias maju) adalah Rf, yang umumnya nilainya lebih kecil dari RL. Pada saat dioda OFF (mendapat bias mundur) resistansinya besar sekali atau dalam pembahasan ini dianggap tidak terhigga, sehingga arus dioda tidak mengalir atau i = 0.

Arus yang mengalir ke beban (i) terlihat pada Gambar (c) bentuknya sudah searah (satu arah) yaitu positip semua. Apabila arah diod dibalik, maka arus yang mengalir adalah negatip. Frekuensi sinyal

keluaran dari penyearah setengah gelombang ini adalah sama dengan frekuensi input (dari jala-jala listrik) yaitu 50 Hz. Karena jarak dari puncak satu ke puncak berikutnya adalah sama.

Bila diperhatikan meskipun sinyal keluaran masih berbentuk gelombang, namun arah gelombangnya adalah sama, yaitupositip (Gambar c). Berarti harga rata-ratanya tidak lagi nol seperti halnya arus bolak-balik, namun ada suatu harga tertentu. Arus rata-rata ini (Idc) secara matematis bisa dinyatakan:

$$Idc = \frac{1}{2\pi} \int i \, d\omega t$$

Untuk penyearah setengah gelombang diperoleh :

$$Idc = \frac{1}{2\pi} \int im \sin d\omega t$$

$$Idc = \frac{Im}{\pi} \cong 0.318 \, Im$$

Tegangan keluaran dc yang berupa turun tegangan dc pada beban adalah:

$$Vdc = Idc \, . \, RL$$

$$Vdc = \frac{Im.Rl}{\pi}$$

Apabila harga Rf jauh lebih kecil dari RL, yang berarti Rf bisa diabaikan, maka:

$$Vm = Im . RL$$

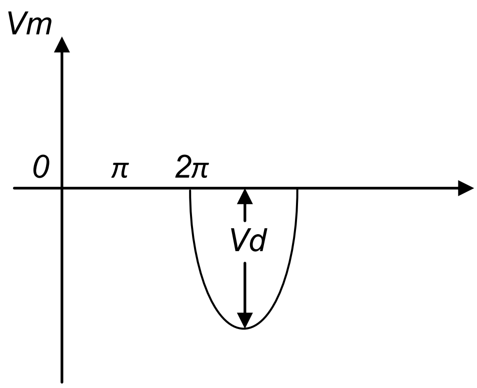
Sehingga :

$$Vdc = \frac{Vm}{\pi} \cong 0.318\ Vm$$

Apabila penyearah bekerja pada tegangan Vm yang kecil, untuk memperoleh hasil yang lebih teliti, maka tegangan cut-in dioda ($V\gamma$) perlu dipertimbangkan, yaitu:

$$Vdc = 0.318\ (Vm - V\gamma)$$

Dalam perencanaan rangkaian penyearah yang juga penting untuk diketahui adalah berapa tegangan maksimum yang boleh diberikan pada dioda. Tegangan maksimum yang harus ditahan oleh dioda ini sering disebut dengan istilah PIV (peak-inverse voltage) ata tegangan puncakbalik. Hal ini karena pada saat dioda mendapat bias mundur (balik) maka tidak arus yang mengalir dan semua tegangan dari skunder trafo berada pada dioda. Bentuk gelombang dari sinyal pada dioda dapat dilihat pada Gambar 7.10 PIV untuk penyearah setengah gelombang ini adalah: PIV = Vm



Gambar 7.10 Bentuk Gelombang Sinyal pada Dioda

Bentuk gelombang sinyal pada dioda seperti Gambar diatas dengan anggapan bahwa Rf dioda diabaikan, karena nilainya kecil sekali dibanding RL. Sehingga pada saat siklus positip dimana dioda sedang ON (mendapat bias maju), terlihat turun tegangannya adalah nol. Sedangkan saat siklus negatip, dioda sedang OFF (mendapat bias mundur) sehingga tegangan puncak dari skunder trafo (Vm) semuanya berada pada dioda.

Tugas 23

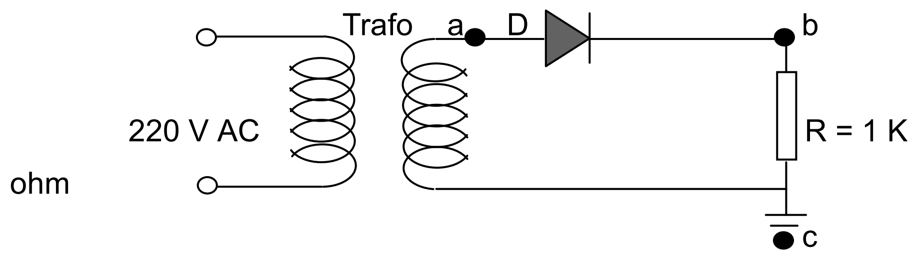
Persiapkan bersama kelompok kalian Alat dan Bahan, seperti :

1. Multimeter
2. Osiloskop
3. Dioda IN 4002, 1 buah
4. Trafo step down 0,5 Amp
5. Resistor 1 KΩ, 1 buah

Periksalah terlebih dahulu semua komponen aktif maupun pasif sebelum digunakan !. Hati-hati dalam penggunaan peralatan pratikum!.

Prosedur pengamatan

1. Buatlah rangkaian penyearah setengah gelombang seperti gambar berikut :



2. Setelah dinilai benar hubungkan dengan sumber tegangan AC 220 Volt.

3. Amatilah tegangan skuder trafo dengan CRO titikl a dan c , catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel pengamatan

4. Lakukanlah pengamatan pada titik pengukuran (b dan c) catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel pengamatan

Tabel Pengamatan penyearah ½ gelombang

Penyearah	Komponen yang diamati	V1 (volt	V2 (volt)	Hasil keluaran (CRO)
Penyearah ½ gelombang	transformator			
	Beban Resistor (RL)			

5. Buat gambar bentuk gelombang dari hasil pengamatan kalian antara output trafo sekunder (titik a dan c) dan output RL (titik b dan c)
6. Buatlah kesimpulan dan deskripsikan oleh anda , tulis ke dalam laporan untuk dinilai.

Review

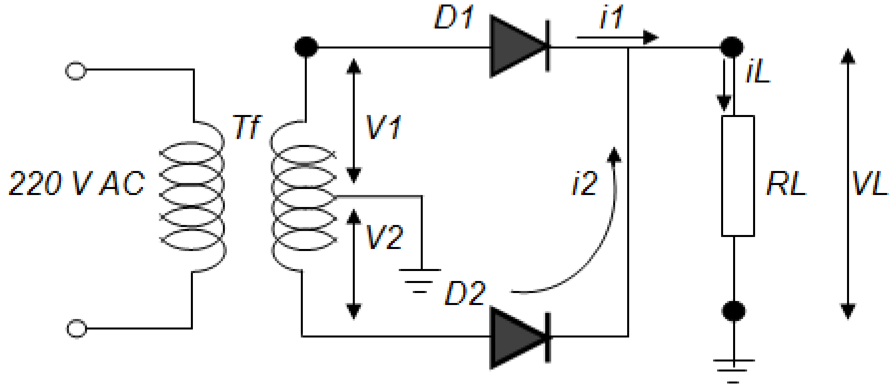
- Sebutkan macam-macam penggunaan dioda semikonduktor!
- Jelaskan prinsip kerja penyearah setengah gelombang!

2. Penyearah Gelombang Penuh Dengan Trafo CT

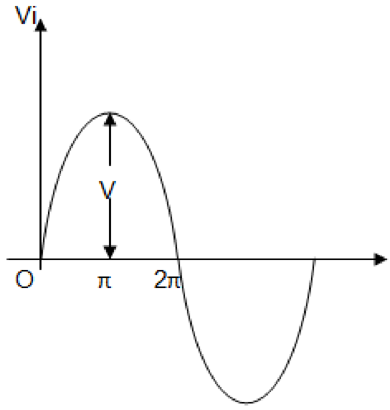
Rangkaian penyearah gelombang penuh ada dua macam, Yaitu dengan menggunakan trafo CT (center-tap = tap tengah) dan dengan sistem jembatan. Gambar 7.11 menunjukkan rangkaian penyearah gelombang penuh dengan menggunaka trafo CT.

Terminal skunder dari Trafo CT mengeluarkan dua buah Tegangan keluaran yang sama tetapi fasanya berlawanan dengan titik CT sebagai titik tengahnya. Kedua keluaran ini masing-masing dihubungkan ke D1 dan D2, sehingga saat D1 mendapat sinyal siklus positip maka D1 mendapat sinyal siklus negatip, dan sebaliknya. Dengan demikian D1 dan

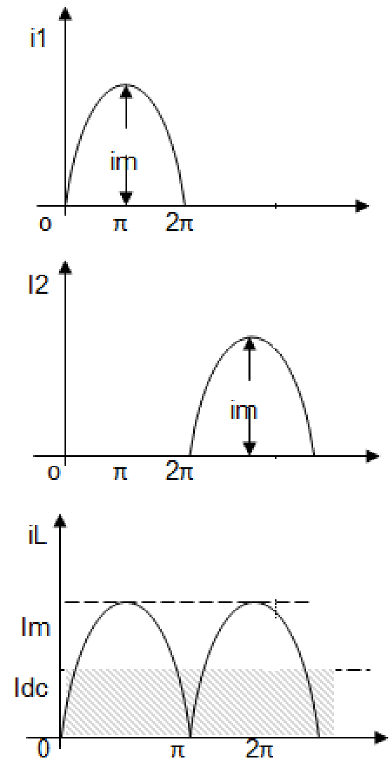
D2 hidupnya bergantian. Namun karena arus i1 dan i2 melewati tahanan beban (RL) dengan arah yang sama, maka iL menjadi satu arah (7.11 c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 7.11
(a) Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh dengan Trafo CT;
(b) Sinyal Input; (c) Arus Dioda dan Arus Beban

Terlihat dengan jelas bahwa rangkaian penyearah Gelombang Penuh ini merupakan gabungan dua buah penyearah Setengah gelombang yang hidupnya bergantian setiap setengah siklus. Sehingga arus maupun tegangan rata-ratanya adalah dua kali dari penyearah setengah gelombang. Dengan cara penurunan yang sama, maka diperoleh:

$$Idc = \frac{2\,Im}{\pi} \cong 0.636\ Im$$

$$Vdc = Idc.RL = \frac{2\,Im.Rl}{\pi}$$

Apabila harga Rf jauh lebih kecil dari RL, maka Rf bisa diabaikan, sehingga:

$$Vdc = \frac{2\,Vm}{\pi} \cong 0.636\ Vm$$

Apabila penyearah bekerja pada tegangan Vm yang kecil. Untuk memperoleh hasil yang lebih teliti, maka tegangan cut-in dioda (Vg) perlu dipertimbangkan, yaitu:0

$$Vdc = 0.636\ (Vm - V\gamma)$$

Tegangan puncak inverse yang dirasakan oleh dioda adalah sebesar 2Vm. Misalnya pada saat siklus positip, dimana D1 sedang hidup (ON) dan D2 sedang mati (OFF), maka jumlah tegangan yan berada pada dioda D2 yang sedang OFF tersebut adalah dua kali dari tegangan skunder trafo. Sehingga PIV untuk masing-masing dioda dalam rangkaian penyearah dengan trafo CT adalah:

PIV = 2Vm

Tugas 24

3. Penyearah gelombang penuh dengan CT

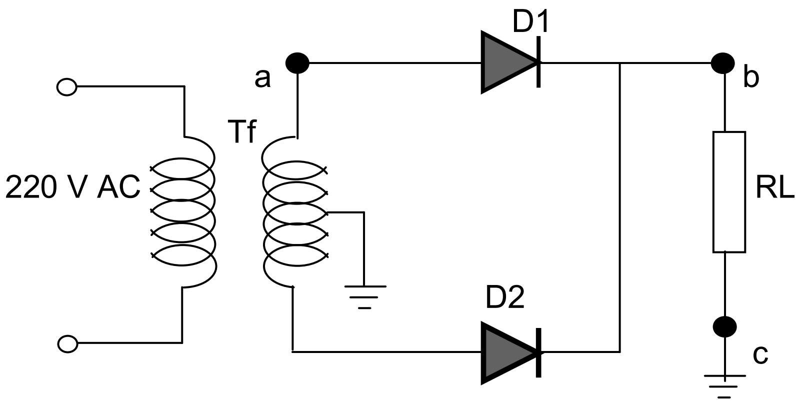
Persiapkan Alat dan Bahan denga tertib dan aman !

1. Multimeter
2. Osiloskop
3. Dioda IN 4002, 2buah
4. Trafo step down 0,5 Amp
5. Resistor 1 KΩ, 1 buah

Periksalah terlebih dahulu semua komponen aktif maupun pasif sebelum digunakan !. Hati-hati dalam penggunaan peralatan pratikum!.

Prosedur pengamatan

1. Buatlah rangkaian penyearah gelombang penuh dengan CT Trafo seperti gambar berikut :



2. Setelah dirangkai benar, hubungkan dengan sumber tegangan AC 220 Volt.
3. Amatilah tegangan skuder trafo dengan CRO titikl a dan c , catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel .....
4. Lakukanlah pengamatan pada titik pengukuran (b dan c) catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel berikut.

Tabel Penyearah gelombang penuh dengan CT

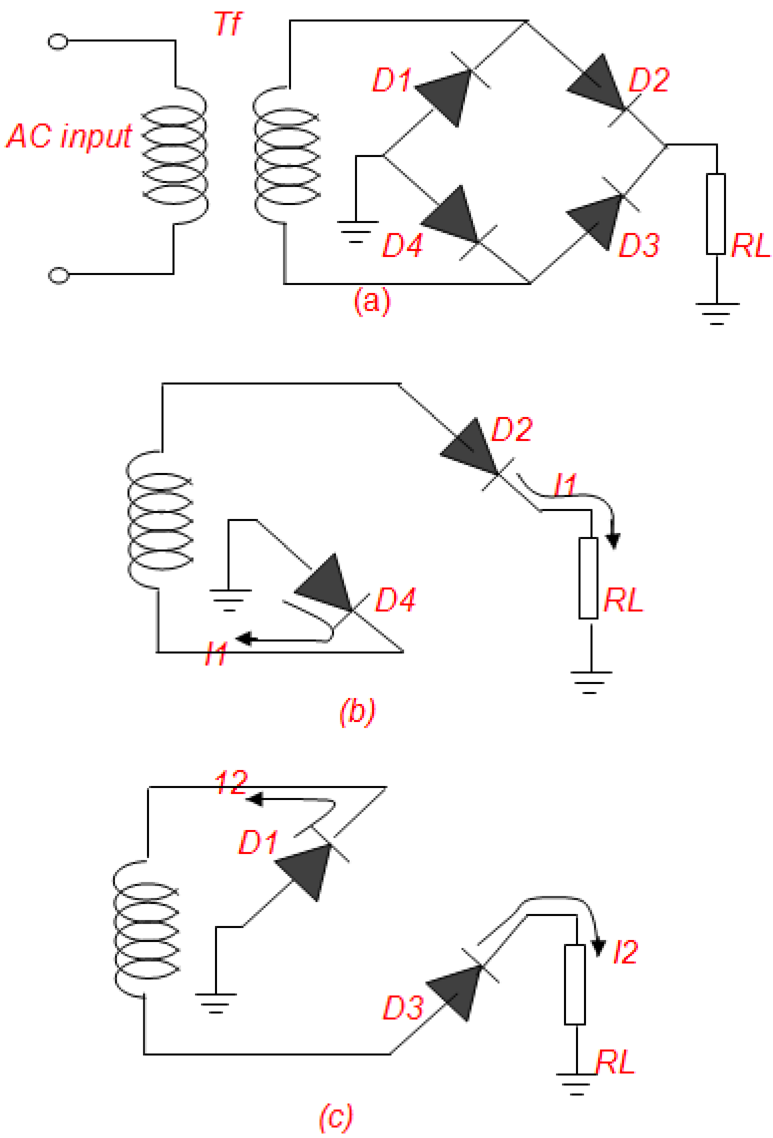
Penyearah	Komponen yang diamati	V1 (volt	V2 (volt)	Hasil keluaran (CRO)
Penyearah gelombang penuh denngan CT	transformator			
	Beban Resistor (RL)			

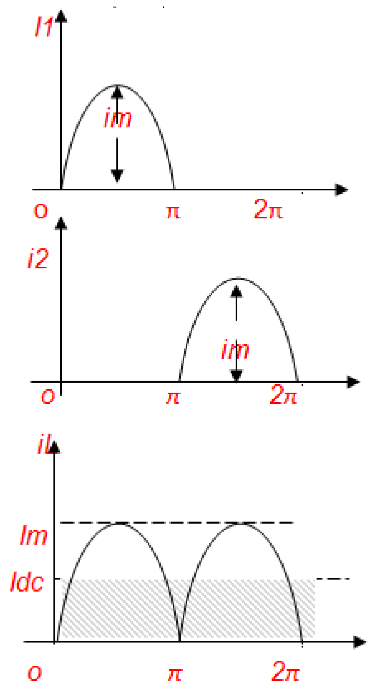
Buat gambar bentuk gelombang dari hasil pengamatan kalian antara output trafo sekunder (titik a dan c) dan output RL (titik b dan c)

Buatlah kesimpulan dan deskripsikan oleh anda , tulis ke dalam laporan untuk dinilai.

4. Penyearah Gelombang Penuh Sistem Jembatan

Penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan ini bisa menggunakan sembarang trafo baik yang CT maupun yang biasa, atau bahkan bisa juga tanpa menggunakan trafo. rangkaian dasarnya adalah seperti pada Gambar 7.12.





(d)

Gambar 7.12 Penyearah Gelombang Penuh dengan Jembatan (a) Rangkaian Dasar; (b) SaatSiklus Positip; (c) Saat Siklus Negatip; (d) Arus Beban

Prinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh siste jembatan dapat dijelaskan melalui Gambar 7.12. Pada saarangkaian jembatan mendapatkan bagian positip dari siklus sinyal ac, maka (Gambar 7.12 b) :

- D_1 dan D_3 hidup (ON), karena mendapat bias maju
- D_2 dan D_4 mati (OFF), karena mendapat bias mundur

Sehingga arus i_1 mengalir melalui D_1, RL, dan D_3.

Sedangkan apabila jembatan memperoleh bagian siklus negatip, maka (Gambar 7.12) :

- D2 dan D4 hidup (ON), karena mendapat bias maju
- D1 dan D3 mati (OFF), karena mendapat bias mundur

Sehingga arus i_2 mengalir melalui D_2, RL, dan D_4.

Arah arus i_1 dan i_2 yang melewati RL sebagaimana terlihat Pada Gambar 7.12 (b) dan (c) adalah sama, yaitu dari ujung atas RL menuju ground. Dengan demikian arus yang mengalir ke beban (iL) merupakan

penjumlahan dari dua arus i1 dan i2, dengan menempati paruh waktu masing-masing (Gambar 7.12 (d).

Besarnya arus rata-rata pada beban adalah sama seperti penyearah gelombang penuh dengan trafo CT, yaitu: Idc = 2Im/p = 0.636 Im. Untuk harga Vdc dengan memperhitungkan harga Vg adalah:

$$Vdc = 0.636 (Vm - 2V\gamma)$$

Harga $2V\gamma$ ini diperoleh karena pada setiap siklus terdapat dua buah dioda yang berhubungan secara seri.

Disamping harga $2V\gamma$ ini, perbedaan lainnya dibanding dengan trafo CT adalah harga PIV. Pada penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan ini PIV masing-masing dioda adalah: $PIV = Vm$

Tugas 25

Penyearah Gelombang Penuh Sistem Jembatan

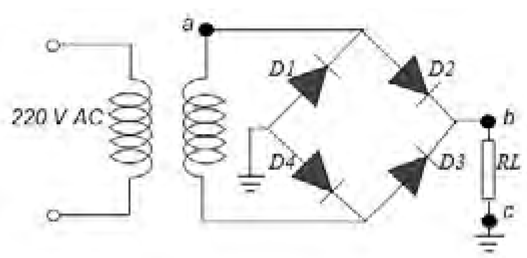
Persiapkan Alat dan Bahan

1. Multimeter
2. Osiloskop
3. Dioda IN 4002, 4 buah
4. Trafo step down 0,5 Amp
5. Resistor 1 KΩ, 1 buah

Periksalah terlebih dahulu semua komponen aktif maupun pasif sebelum digunakan !. Hati-hati dalam penggunaan peralatan pratikum!.

Prosedur pengamatan

1. Buatlah rangkaian penyearah gelombang penuh seperti gambar berikut :



a

2. Setelah dirangkai benar, hubungkan dengan sumber tegangan AC 220 Volt.
3. Amatilah tegangan sekunder trafo dengan CRO titik (a dan c) , catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel .....
4. Lakukanlah pengamatan pada titik pengukuran (b dan c) catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel pengamatan

Tabel Penyearah gelombang penuh 4 dioda

Penyearah	Komponen yang diamati	V1 (volt	V2 (volt)	Hasil keluaran (CRO)
Penyearah gelombang penuh denngan	transformator			
	Beban Resistor (RL)			

Buat gambar bentuk gelombang dari hasil pengamatan kalian antara output trafo sekunder dan output RL

Buatlah kesimpulan dan deskripsikan oleh anda , tulis ke dalam laporan untuk dinilai

5. Dioda Semikonduktor Sebagai Pemotong (clipper)

Rangkaian clipper (pemotong) digunakan untuk memotong atau menghilangkan sebagian sinyal masukan yang berada di bawah atau di atas level tertentu. Contoh sederhana dari rangkaian clippe adalah penyearah setengah gelombang. Rangkaian ini memotong atau menghilangkan sebagian sinyal masukan di atas atau di bawah level nol.

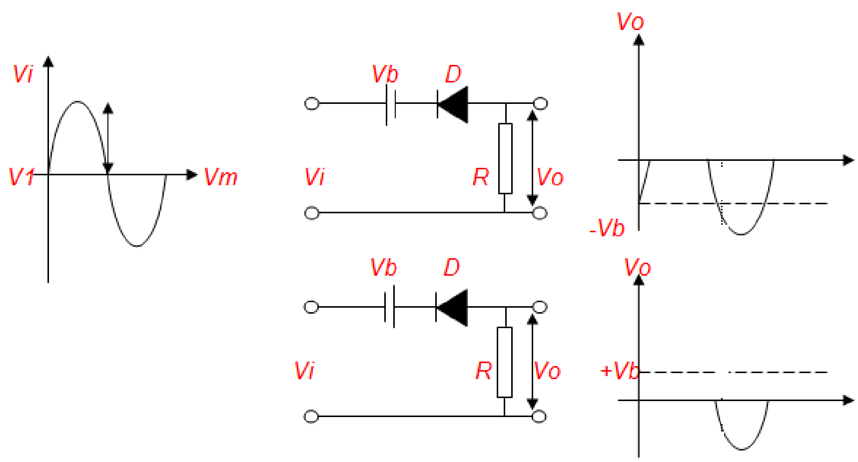
Secara umum rangkaian clipper dapat digolongkan menjadi dua, yaitu: seri dan paralel. Rangkaian clipper seri berarti diodanyaberhubungan

secara seri dengan beban, sedangkan clipper paralel berarti diodanya dipasang paralel dengan beban. Sedangkan untuk masingmasingjenis tersebut dibagi menjadi clipper negatip (pemotong bagian negatip) dan clipper positip (pemotong bagian positip). Dalam analisa ini diodanya dianggap ideal.

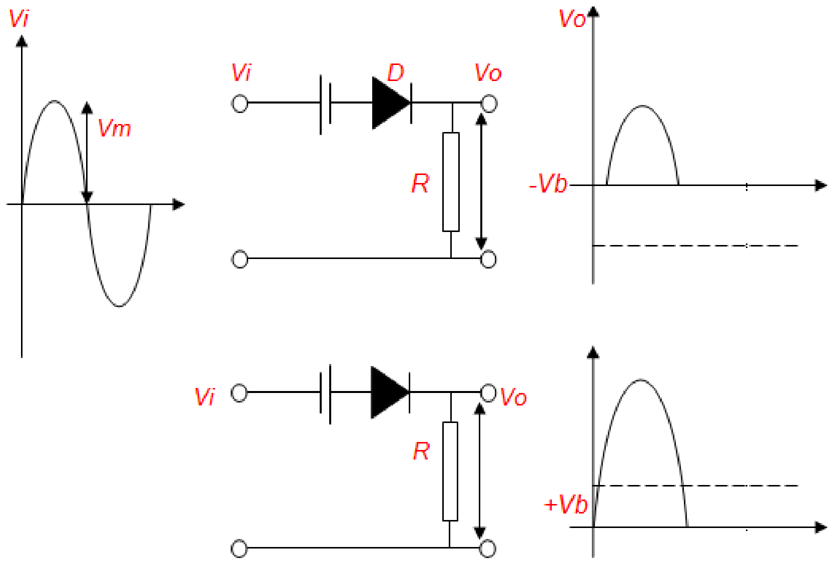
Petunjuk untuk menganalisa rangkaian clipper seri adalah sebagai berikut:

1. Perhatikan arah dioda
   - bila arah dioda ke kanan, maka bagian positip dari sinyal inpu akan dilewatkan, dan bagian negatip akan dipotong (berarti clipper negatip)
   - bila arah dioda ke kiri, maka bagian negatip dari sinyal inpu akan dilewatkan, dan bagian positip akan dipotong (berarti clipper positip)
2. Perhatikan polaritas baterai (bila ada)
3. Gambarlah sinyal output dengan sumbu nol pada **level baterai** (yang sudah ditentukan pada langkah 2 di atas)
4. Batas pemotongan sinyal adalah pada **sumbu nol semula** (sesuai dengan sinyal input)

Rangkaian clipper seri positip adalah seperti Gambar 7.13 darangkaian clipper seri negatip adalah Gambar 7.14



Gambar 7.13 Rangkaian seri Clipper negatif

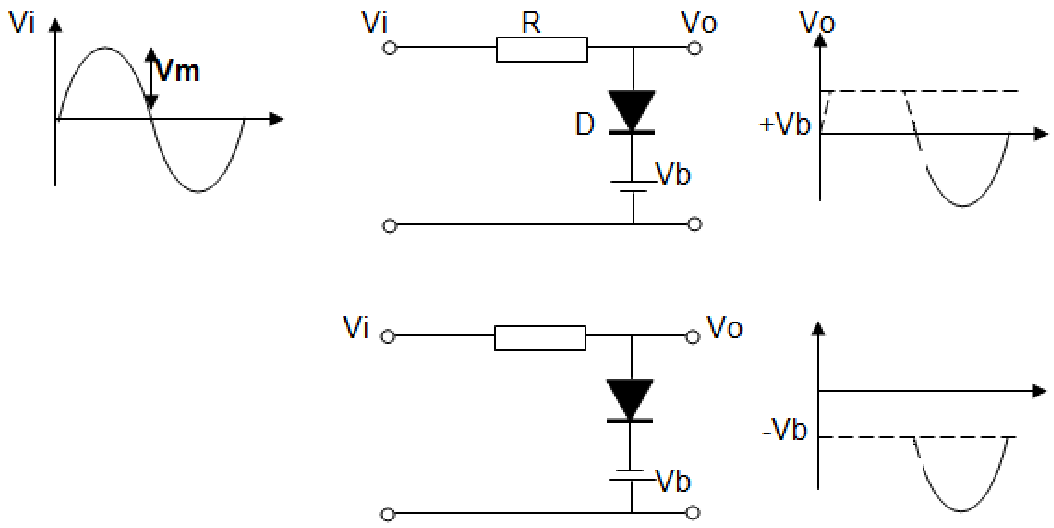


Gambar 7.14 Rangkaian Seri Clipper Positif

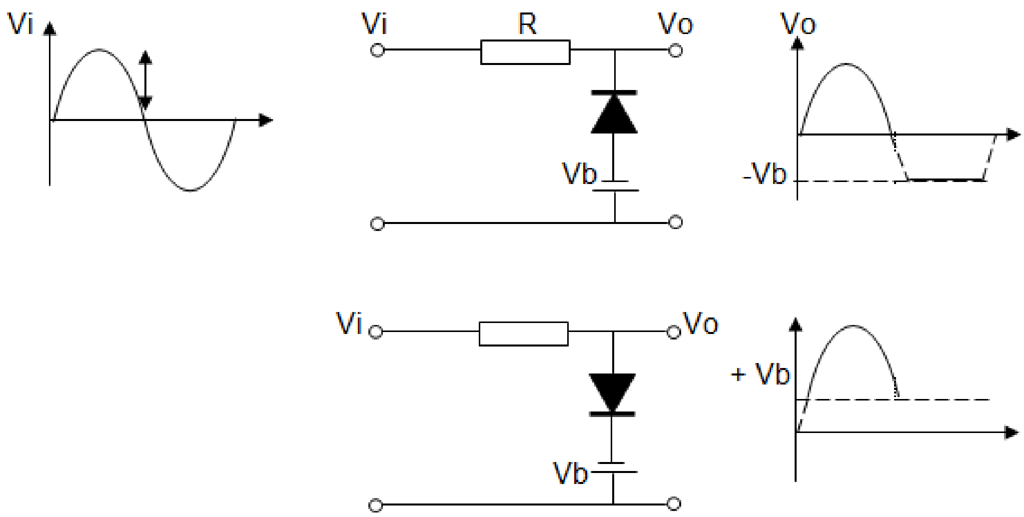
Petunjuk untuk menganalisa rangkaian clipper paralel adalah sebagai berikut:

1. Perhatikan arah dioda.
   - bila arah dioda ke bawah, maka bagian positip dari sinyal inputakan dipotong (berarti clipper positip)
   - bila arah dioda ke atas, maka bagian negatip dari sinyal input akan dipotong (berarti clipper negatip)
2. Perhatikan polaritas baterai (bila ada).
3. Gambarlah sinyal output dengan sumbu nol **sesuai dengan input**.
4. Batas pemotongan sinyal adalah **pada level baterai**.

Rangkaian clipper paralel positip adalah seperti Gambar 7.15 rangkaian clipper paralel negatip adalah Gambar 7.16.



Gambar 7.15 Rangkaian Clipper Paralel Positip



Gambar 7.16 Rangkaian Clipper Paralel Negatip

Tugas 26

Dioda sebagai Pemotong (clipper) negatip

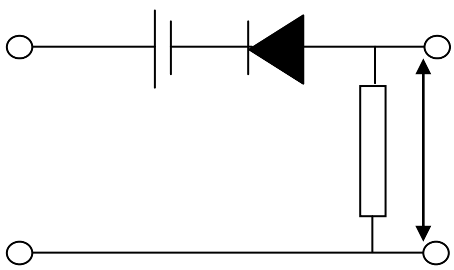
Persiapkan Alat dan Bahan

1. Multimeter
2. Osiloskop
3. Dioda IN 4002, 1 buah
4. Trafo step down 0,5 Amp
5. Resistor 1 KΩ, 1 buah

Periksalah terlebih dahulu semua komponen aktif maupun pasif sebelum digunakan !. Hati-hati dalam penggunaan peralatan pratikum!.

Prosedur pengamatan

1. Buatlah rangkaian dioda sebagai pemotong (clipper) seperti gambar berikut :



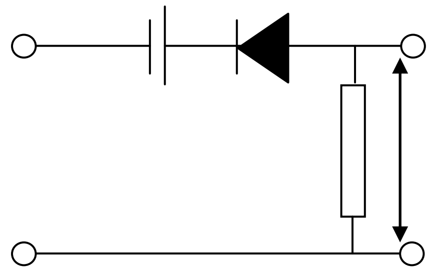
2. Setelah dirangkai benar, hubungkan dengan sumber tegangan AC 30 Volt.
3. Amatilah tegangan inputnya dengan CRO, catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel .....
4. Amati pengamatan pada outputnya catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel berikut.

Tabel Pengamatan dioda sebagai clipper positip

Komponen yang diamati	Vin (volt)	Vout (volt)	Hasil keluaran (CRO)
Dioda			

Beban Resistor (RL)			

5. Selanjutnya putuskan hubungan sumber tegangan 30 Volt AC dari rangkaian,
6. Balikan polaritas sumber DC (baterai), seperti gambar berikut untuk menjadi rangkaian Dioda sebagai Pemotong (clipper) negatip :



7. Hubungkan kembali rangkaian dengan sumber tegangan 30 Volt AC
8. Amati kembali tegangan inputnya dengan CRO, catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel .....
9. Amati pula pada outputnya catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel berikut.

Tabel Pengamatan dioda sebagai clipper negatip

Komponen yang diamati	Vin (volt)	Vout (volt)	Hasil keluaran (CRO)
Dioda			
Beban Resistor (RL)			

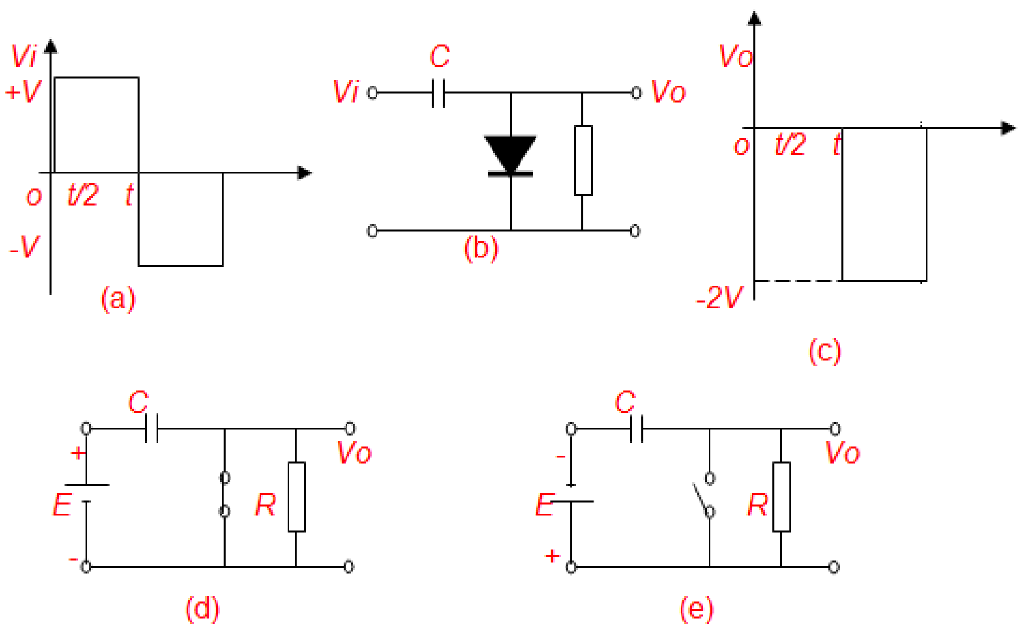
Buat gambar gravik (bentuk gelombang) dari hasil pengamatan kalian antara input dan output nya !

Buatlah kesimpulan dan deskripsikan oleh anda , tulis ke dalam laporan untuk dinilai.

6. Dioda Semikonduktor Sebagai Penggeser (clamper)

Rangkaian Clamper (penggeser) digunakan untuk menggeser suatu sinyal ke level dc yang lain. Rangkain Clamper paling tidak harus mempunyai sebuah kapasitor, dioda, dan resistor, disamping itu bisa pula ditambahkan sebuah baterai. Harga R dan C harus dipilih sedemikian rupa sehingga konstanta waktu RC cukup besar agar tidak terjadi pengosongan muatan yang cukup berarti saat dioda tidak menghantar. Dalam analisa ini dianggap didodanya adalah ideal.

Sebuah rangkaian clamper sederhana (tanpa baterai) terdiri atas sebuah R, D, dan C terlihat pada Gambar 7.17.

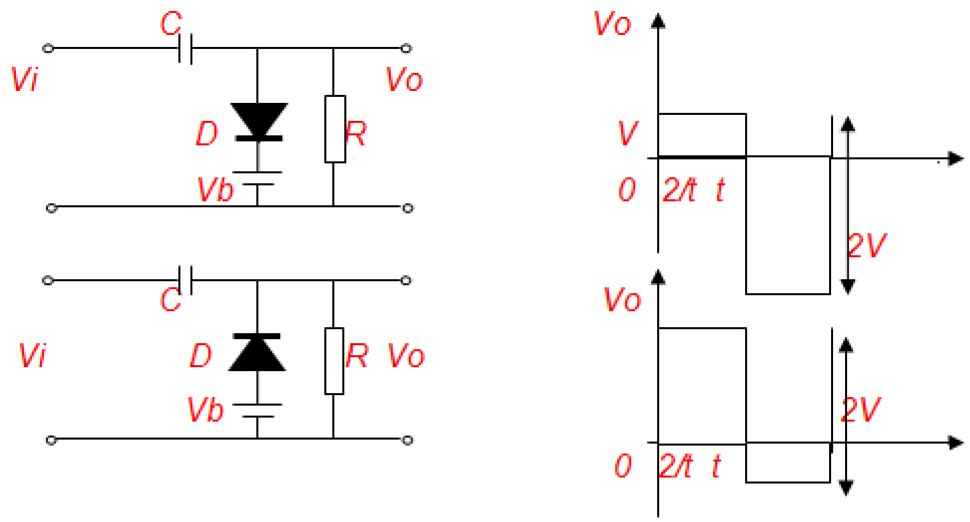


Gambar 7.17 Rangkaian Clamper Sederhana

Gambar 7.17 (a) adalah gelombang kotak yang menjadi sinyal input rangkaian clamper (b). Pada saat 0 - T/2 sinyal input adalah positip sebesar +V, sehingga Dioda menghantar (ON). Kapasitor mengisi muatan dengan cepat melalui tahanan dioda yang rendah (seperti hubung singkat,

karena dioda ideal). Pada saat ini sinyal output pada R adalah nol (Gambar d). Kemudian saat T/2 - T sinyal input berubah ke negatip, sehingga dioda tidak menghantar (OFF) (Gambar e). Kapasitor membuang muatan sangat lambat, karena RC dibuat cukup lama. Sehingga pengosongan tegangan ini tidak berarti dibanding dengan sinyal output. Sinyal output merupakan penjumlahan tegangan input -V dan tegangan pada kapasitor - V, yaitu sebesar -2V (Gambar c).

Terlihat pada Gambar 7.17 c bahwa sinyal output merupakan bentuk gelombang kontak (seperti gelombang input) yang level dc nya sudah bergeser kearah negatip sebesar -V. Besarnya penggeseran ini bisa divariasi dengan menambahkan sebuah baterai secara seri dengan dioda. Disamping itu arah penggeseran juga bisa dinuat kearah positip dengan cara membalik arah dioda. Beberapa rangkaian clamper negatip dan positip dapat dilihat pada Gambar 7.18.



Gambar 7.18 Rangkaian Clamper Negatip dan Positip

Tugas 27

Dioda sebagai clamper (penggeser) positip

Persiapkan Alat dan Bahan

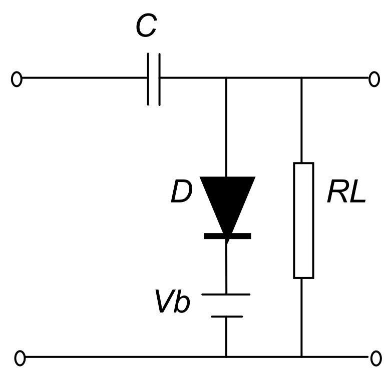
1. Multimeter
2. Osiloskop

3. Dioda IN 4002, 1 buah
4. Trafo step down 0,5 Amp
5. Resistor 1 KΩ, 1 buah

Periksalah terlebih dahulu semua komponen aktif maupun pasif sebelum digunakan !. Hati-hati dalam penggunaan peralatan pratikum!.

Prosedur pengamatan

1. Buatlah rangkaian dioda sebagai penggeser (clamper) seperti gambar berikut :

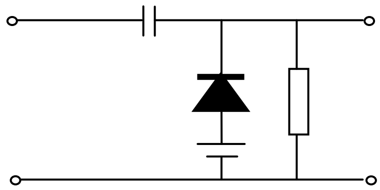


2. Hubungkan kembali rangkaian dengan sumber tegangan 30 Volt AC
3. Amati kembali tegangan inputnya dengan CRO, catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel .....
4. Amati pula pada outputnya catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel berikut.

Tabel Pengamatan dioda sebagai clamper positip

Komponen yang diamati	Vin (volt)	Vout (volt)	Hasil keluaran (CRO)
Dioda			
Beban Resistor (RL)			

5. Selanjutnya putuskan hubungan sumber tegangan 30 Volt AC dari rangkaian,
6. Balikan polaritas dioda seperti gambar berikut untuk menjadi rangkaian Dioda sebagai Penggeser(clamper) negatip



7. Hubungkan kembali rangkaian dengan sumber tegangan 30 Volt AC
8. Amati kembali tegangan inputnya dengan CRO, catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel .....
9. Amati pula pada outputnya catatlah hasil pengukuran tersebut pada Tabel .....!

Tabel Pengamatan dioda sebagai clamper negatip

Komponen yang diamati	Vin (volt)	Vout (volt)	Hasil keluaran (CRO)
Dioda			
Beban Resistor (RL)			

Buat gambar gravik (bentuk gelombang) dari hasil pengamatan kalian antara input dan output nya !

Buatlah kesimpulan dan deskripsikan oleh anda , tulis ke dalam laporan untuk dinilai.

5. Dioda zener

a. Dasar pembentukan dioda zener

Semua dioda prinsip kerjanya adalah sebagai peyearah, tetapi karena proses pembuatan, bahan dan penerapannya yang berbeda beda, maka nama-namanya juga berbeda.

Secara garis besar komponen elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor adalah ringkas (kecil-kecil atau sangat kecil). Maka hampir-hampir kita tidak bisa membedakan satu sama lainnya. Hal ini sangat penting untuk mengetahui kode-kode atau tanda-tanda komponen tersebut.

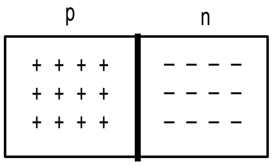
b. Bahan Dasar Dioda Zener

Bahan dasar pembutan komponen dioda zener adalah silikon yang mempunyai sifat lebih tahan panas, oleh karena itu sering digunakan untuk komponen-komponen elektronika yang berdaya tinggi. Elektron-elektron yang terletak pada orbit paling luar (lintasan valensi) sangat kuat terikat dengan intinya (proton) sehingga sama sekali tidak mungkin elektron-elektron tersebut melepaskan diri dari intinya.

c. Dasar Pembentukan Junction pn

Pembentukan dioda bisa dilaksanakan dengan cara point kontak dan junction. Namun dalam pembahasan ini fokus pembahasan materi diarahkan pada cara junction.

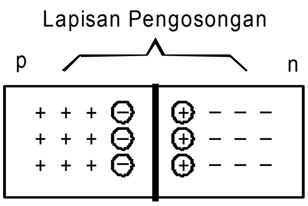
Pengertian junction (pertemuan) adalah daerah dimana tipe p dan tipe n bertemu, dan dioda junction adalah nama lain untuk kristal pn (kata dioda adalah pendekan dari dua elektroda dimana di berarti dua). Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini.



Gambar 7.19 Pembentukan zener dioda

Sisi p mempunyai banyak hole dan sisi n banyak elektron pita konduksi. Agar tidak membingungkan, pembawa minoritas tidak ditunjukkan, tetapi camkanlah bahwa ada beberapa elektron pita konduksi pada sisi p dan sedikit hole pada sisi n.

Elektron pada sisi n cenderung untuk berdifusi kesegala arah, beberapa berdifusi melalui junction. Jika elektron masuk daerah p, ia akan merupakan pembawa minoritas, dengan banyaknya hole disekitarnya, pembawa minoritas ini mempunyai umur hidup yang singkat, segera setelah memasuki daerah p, elektron akan jatuh kedalam hole. Jika ini terjadi, hole lenyap dan elektron pita konduksi menjadi elektron valensi. Setiap kali elektron berdifusi melalui junction ia menciptakan sepasang ion, untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini :



Gambar 7.20 Junction zener dioda

Tanda positip berlingkaran menandakan ion positip dan taanda negatip berlingkaran menandakan ion negatip. Ion tetap dalam struktur kristal karena ikatan kovalen dan tidak dapat berkeliling seperti elektron pita konduksi ataupun hole. Tiap pasang ion positip dan negatip disebut dipole, penciptaan dipole berarti satu elektron pita konduksi dan satu hole telah dikeluarkan dari sirkulasi.

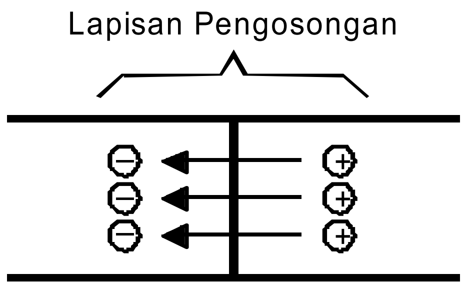
Jika terbentuk sejumlah dipole, daerah dekat junction dikosongkan dari muatan-muatan yang bergerak, kita sebut daerah yang kosong muatan ini dengan lapisan pengosongan (depletion layer).

d. Potensial Barier

Tiap dipole mempunyai medan listrik, anak panah menunjukkan arah gaya pada muatan positip. Oleh sebab itu jika elektron memasuki lapisan pengosongan, medan mencoba mendorong elektron kembali kedalam daerah n. Kekuatan medan bertambah dengan berpindahnya tiap elektron sampai akhirnya medan menghentikan difusi elektron yang melewati junction.

Untuk pendekatan kedua kita perlu memasukkan pembawa minoritas. Ingat sisi p mempunyai beberapa elektron pita konduksi yang dihasilkan secara thermal. Mereka yang didalam pengosongan didorong oleh medan kedalam daerah n. Hal ini sedikit mengurangi kekuatan medan dan membiarkan beberapa pembawa mayoritas berdifusi dari kanan kakiri untuk mengembalikan medan pada kekuatannya semula.

Inilah gambaran terakhir dari kesamaan pada junction :

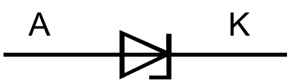


Gambar 7.21 Junction zener dioda

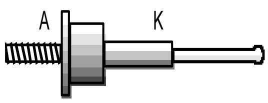
Beberapa pembawa minoritas bergeser melewati junction, mereka akan mengurangi medan yang menerimanya.

Beberapa pembawa mayoritas berdifusi melewati junction dan mengembalikan medan pada harga semula.

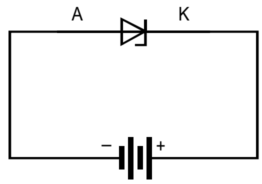
Adanya medan diantara ion adalah ekuivalen dengan perbedaan potensial yang disebut potensial barier, potensial barier kira-kira sama dengan 0,3 V untuk germanium dan 0,7 V untuk silikon.



a) Simbol



b. Contoh Konstruksi



c. Cara pemberian tegangan

Gambar 7.22 Dioda Zener a) simbol b) Konstruksi c) Cara pemberian tegangan

e. Sifat Dasar Dioda Zener

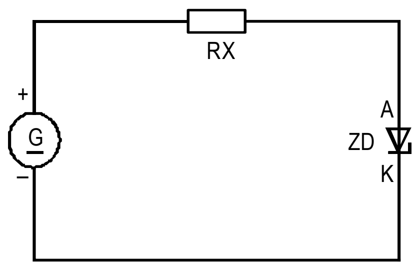
Dioda zener berbeda dengan dioda penyearah, dioda zener dirancang untuk beroperasi dengan tegangan muka terbalik (reverse bias) pada tegangan tembusnya,biasa disebut “break down diode”

Jadi katoda-katoda selalu diberi tegangan yang lebih positif terhadap anoda dengan mengatur tingkat dopping, pabrik dapat menghasilkan dioda zener dengan tegangan break down kira-kira dari 2V sampai 200V.

Dioda zener dalam kondisi forward bias.

Dalam kondisi forward bias dioda zener akan dibias sebagai berikut: kaki katoda diberi tegangan lebih negatif terhadap anoda atau anoda diberi tegangan lebih positif terhadap katoda seperti gambar berikut.

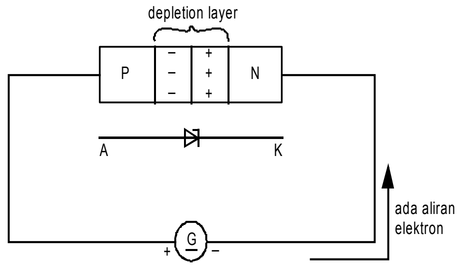
Dalam kondisi demikian dioda zener akan berfungsi sama halnya dioda penyearah dan mulai aktif setelah mencapai tegangan barier yaitu 0,7V.



Gambar 7.23 dioda zener dalam arah forward

Disaat kondisi demikian tahanan dioda (Rz) kecil sekali .

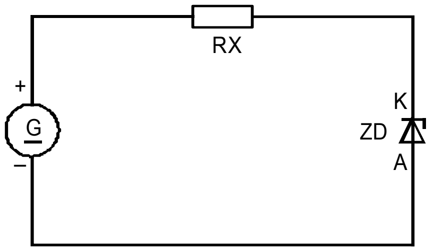
Sedangkan konduktansi ($\frac{\Delta I}{\Delta U}$) besar sekali, karena tegangan maju akan menyempitkan depletion layer (daerah perpindahan muatan) sehingga perlawanannya menjadi kecil dan mengakibatkan adanya aliran elektron. Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini.



Gambar 7.24 depletion layer pada dioda zener dalam arah forward

Dioda zener dalam kondisi Reverse bias.

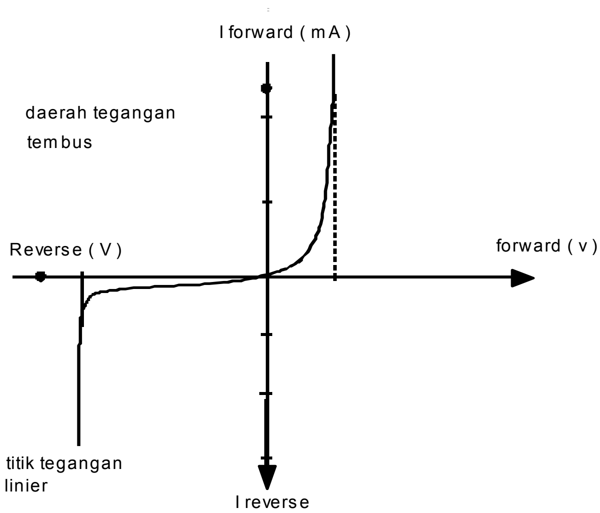
Dalam kondisi reverse bias dioda zener kaki katoda selalu diberi tegangan yang lebih positif terhadap anoda.



Gambar 7.25 Dioda zener dalam arah reverse

f. Karakteristik Dioda zener.

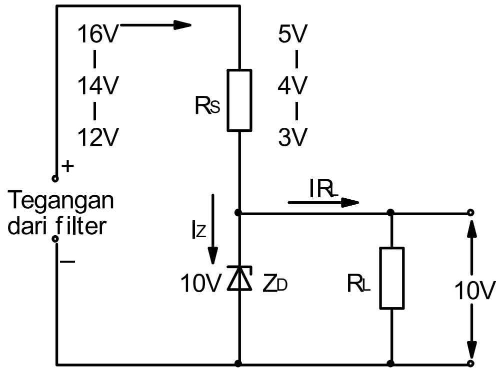
Jika digambarkan kurva karakteristik dioda zener dalam kondisi forward bias dan reverse bias adalah sebagai berikut.



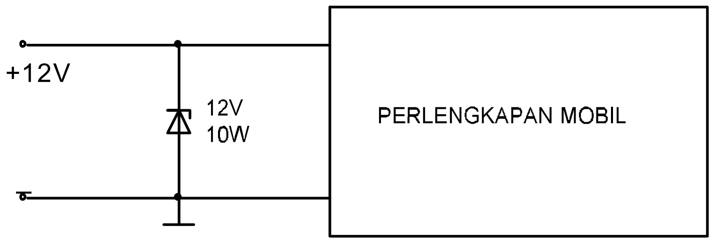
Gambar 7.26 Grafik Karakteristik Dioda Zener

Contoh Penerapan Dioda Zener

Sesuai dengan sifat-sifat yang dimiliki, dioda zener dapat digunakan sebagai penstabil ataupun pembagi tegangan . Salah satu contoh adalah ditunjukkan gambar 7.27



Gambar 7.27 Penstabil tegangan pada output penyearah



Gambar 7.28 Penggunaan Dioda Zener Pada Kendaraan

Dioda Zener yang melindungi pemancar (transceiver) di dalam kendaraan mobil , terhadap loncatan-loncatan tegangan.

Adapun cara kerja rangkaian di atas adalah sebagai berikut :

Bila dioda Zener yang kita pilih memiliki tegangan tembus sebesar 10 Volt, lihat gambar di atas, berarti tegangan output yang diperlukan adalah sebesar 10 V satabil .

Tugas 28

PENGUKURAN KURVA KARAKTERISTIK DIODA ZENER

Setelah kalian mendapatkan pelajaran tentang dioda zener.

Persiapkanlah peralatan dan bahan untuk pengamatan dioda zener seperti berikut dengan tertib dan hati-hati.

Sumber tegangan 10 Volt DC	1 buah
Multimeter Analog	1 buah

Multimeter Digital	1 buah
Trainer elektronika dasar	1 buah
Dioda Zener BZX 55C 5,6 V	1 buah
Potensiometer 50K	1 buah
Tahanan Modul	1 buah
Kabel penghubung	secukupnya

Data book semikonduktor

Sebelum melaksanakan pengamatan ;

Bacalah petunjuk kerja dengan cermat.

Bekerjalah sesuai dengan urutan petunjuk kerja.

Setiap merubah rangkaian, sumber tegangan harus dilepas / dimatikan.

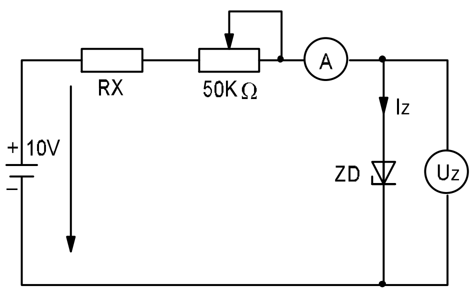
Perhatikan batas alat ukur pada saat di gunakan.

Percobaan pengukuran ini dimaksudkan untuk mendapatkan data-data pengukuran tegangan dan arus dioda zener dalam arah maju dan mundur, yang kemudian digambarkan dalam bentuk kurva karakteristik dioda arah maju (forward) dan arah mundur (reverse).

Prosedur pengamatan :

Bias Maju

1. Siapkan alat dan bahan.
2. Hitung besar Rx, kemudian buatlah rangkaian dioda forward bias seperti gambar dibawah berikut :

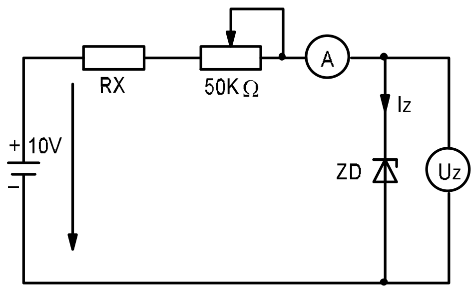


3. Periksakan pada guru (instruktur)

Adakan pengukuran untuk tegangan dengan arus yang bervariasi dengan cara mengatur potensio 50 K Ohm sesuai dengan nilai-nilai yang terdapat pada tabel berikut.

No	I (mA)	U (V)
1	0	
2	0,25	
3	0,1	
4	0,2	
5	0,3	
6	0,4	
7	0,5	
8	1	
9	2	
10	3	
11	4	
12	5	

4. Catatlah hasil pengukuran pada tabel tersebut.
5. Lepaskan rangkaian dari sumber tegangan, kemudian susun kembali rangkaian menjadi dioda reverse bias seperti berikut ;



6. Ulangi langkah 3 dan masukan data hasil pengamatannya pada tabel !

No	I (mA)	U (V)
1	0	
2	0,25	
3	0,1	
4	0,2	
5	0,3	
6	0,4	
7	0,5	
8	1	
9	2	
10	3	
12	4	

12	5	
13	6	
14	8	
15	10	
16	12	

Gambarkan kurva arus-tegangan dari hasil pengukuran sesuai tabel pada sumbu arus dan tegangan, baik dioda reverse bias maupun dioda forward bias !

Buatkan gambar karakteristik Dioda Zener sesuai dengan data pengukuran !

Buat kesimpulan dari hasil percobaan !

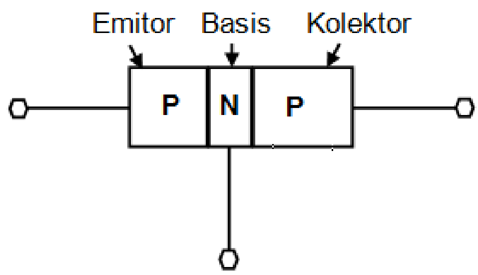
Review :

Coba kalian hitung dan tentukan :

1. Besarnya tahanan Rx
2. Besarnya daya P_{RX}
3. I_{max} untuk tegangan maju ?
4. I_{max} untuk tegangan mundur ?

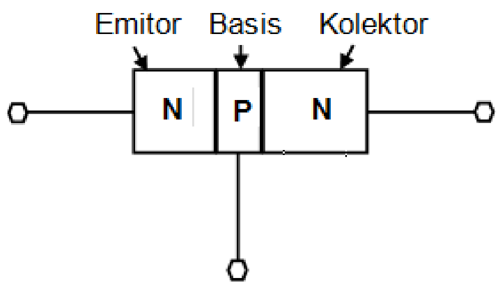
BAB 8
Transistor

Transistor adalah salah suatu komponen aktif, secara kontruksi transistor memiliki tiga kaki yang lazim dikenal dengan emiotor, kolektor dan basis. Dari susunan bahan semi onduktor yang digunakan, kalian dapat membedakan transistor menjadi dua type yaitu ; transistor P-N-P dan transistor N-P-N. Transistor P-N-P dibuat dengan jalan meletakan bahan type N diantara dua bagian bahan type P, seperti gambar berikut :



Gambar 8.1 Transistor tipe PNP

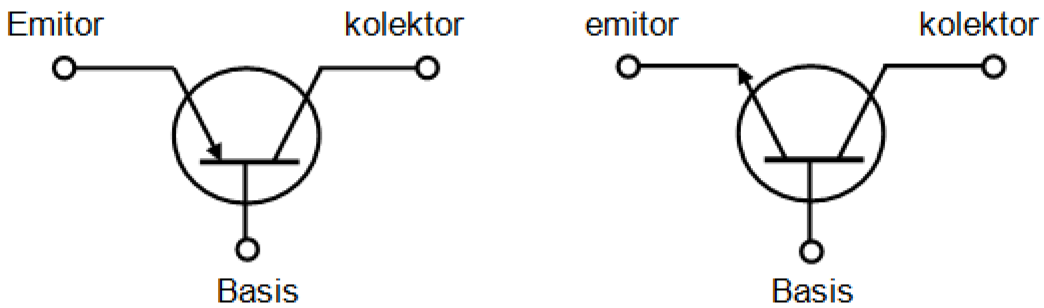
Bahan type P yang lebih tebal (terletak di sebelah kanan) disebut kolektor, sedang bahan type P yang sebagian lagi (sebelah kiri) disebut emitor dan yang ditengah disebut basis.
Sedang transistor N-P-N dibuat dengan meletakan bahan type P diantara dua bagian bahan type N.



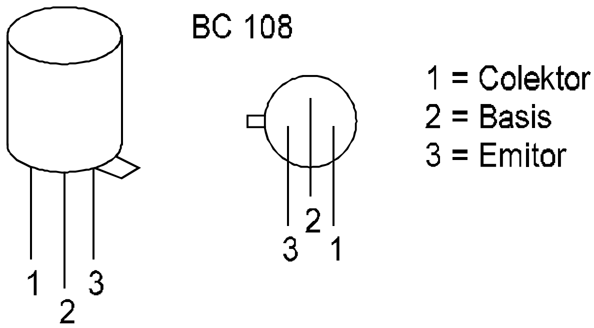
Gambar 8.2 Transistor tipe NPN

Dari kedua gambar diatas tampak bahwa transistor pada prinsipnya sama dengan dua buah dioda yang disusun saling bertolak belakang.

Berikut menunjukan simbul yang umum digunakan untuk menyatakan sebuah transistor. Ujung panah selalu ditempatkan atau diletakan pada emitor dan arahnya (seperti tanda panah pada dioda) menunjukan arah arus konvesional, yaitu dari bahan P ke bahan N.



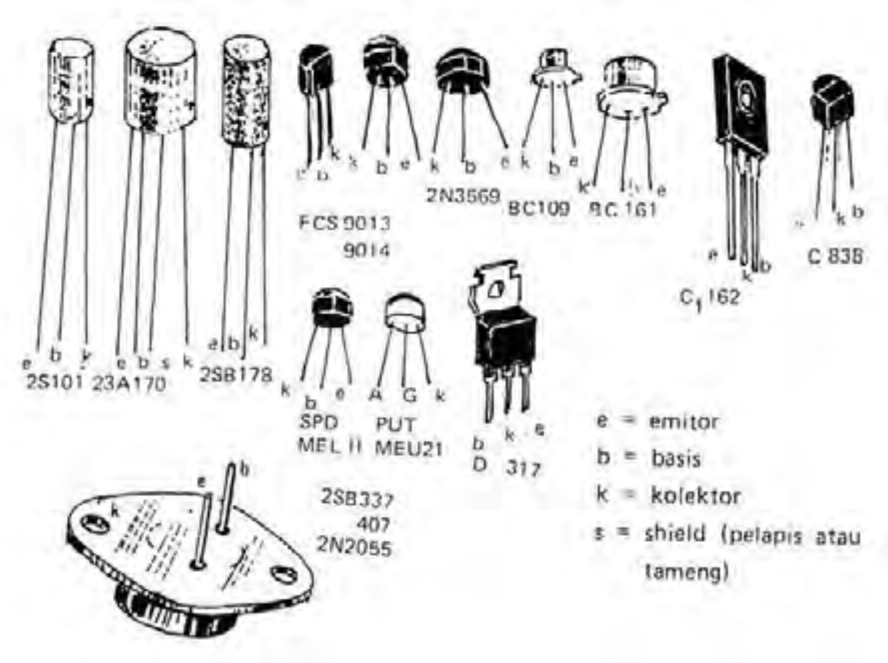
Gambar 8.3 Simbol Transistor



Gambar 8.4 Bentuk Transistor

Bagaimana prinsip kerja dari sebuah transistor, berikut terdapat sebuah gambar, coba kalian berikan penjelasan bagaimana prinsip kerja dari gambar tersebut !, apa hubungannya dengan transistor ?. Jelaskan !





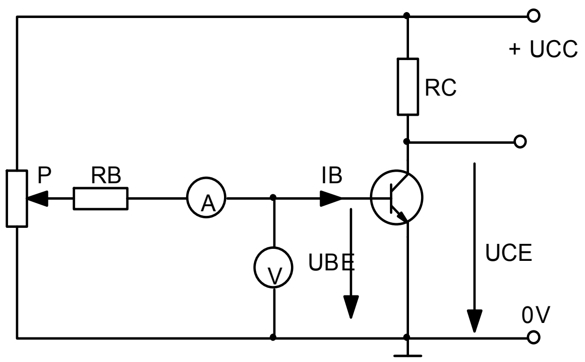
Gambar 8.5 beberapa bentuk fisik, jenis dan macam transistor

1. Sifat Listrik Transistor (Bipolar)

Sifat listrik yang di maksud adalah kurva karakteristik transistor berupa suatu grafik yang memperlihatkan kaitan satu sama lain dari parameter - parameter tertentu .

Dari kurva karakteristik , kita dapat mengetahui sifat-sifat transistor

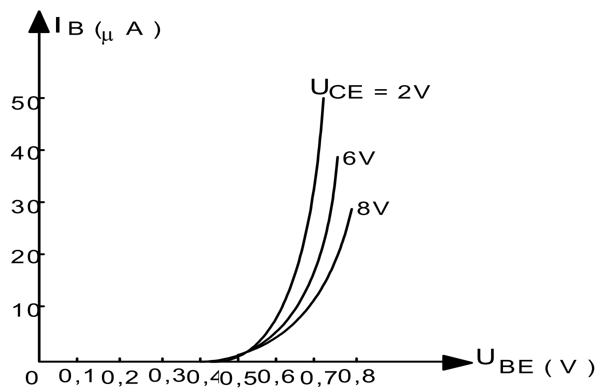
Kurva Karakteristik Input $I_B = f(U_{BE})$



Gambar 8.6 rangkaian untuk mengetahui karakteristik input transistor

Pada gambar 8.6 , besarnya I_B dapat di kontrol dengan U_{BE} . Untuk mengubah-ubah U_{BE} di gunakan potensio meter P . Resistor R_B berfungsi sebagai pembatas arus I_B .

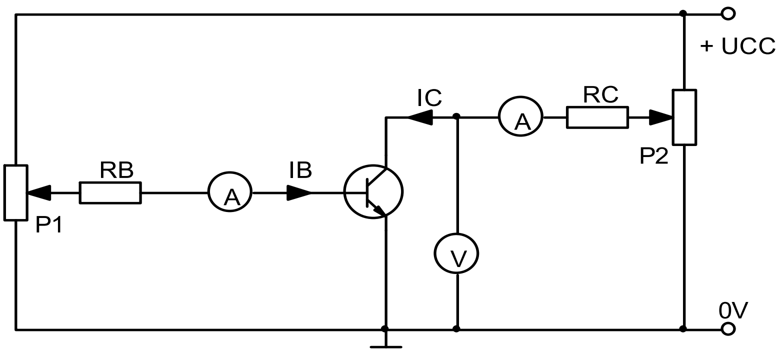
Gambar dibawah ini (Gambar 8.7) memperlihatkan kurva karakteristik input $I_B = f(U_{BE})$.



Gambar 8.7 Kurva hubungan I - U

Diatas tegangan 0,7 V kenaikan U_{BE} yang kecil , menyebabkan kenaikan yang relatif besar pada I_B . Tetapi dibawah 0,6 V , kenaikan yang sama dari U_{BE} menyebabkan kenaikan sangat kecil pada I_B . Pada beberapa harga U_{CE} tertentu, kurva mengalami sedikit penggeseran .

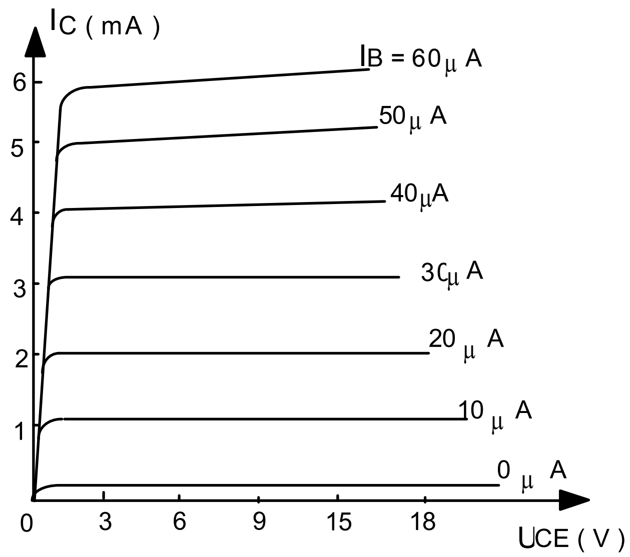
KURVA KARAKTERISTIK OUTPUT $I_C = f (U_{CE})$



Gambar 8.8 Rangkaian untuk mengetahui karakteristik output transistor

Lihat gambar 8.8 Pada harga I_B tertentu I_C ditentukan oleh U_{CE} . Besarnya U_{CE} dapat diubah-ubah dengan potensiometer P_2

Gambar 8.9, memperlihatkan kaitan antara arus output I_C dan tegangan output U_{CE} pada I_B = Konstan .



Gambar 8.9 Grafik hubungan antara I_C dan U_{CE}

Pada U_{CE} 0,1 V - 0,3 V arus I_C mencapai harga optimum . Dalam hal ini katakan transistor bekerja pada kondisi saturasi .

Pada I_B = 0 , $I_C = I_{CEO}$ = 0 dan $U_{CE} = U_{CE}$. Dalam hal ini transistor bekerja pada kondisi cut off (tidak menghantar) .

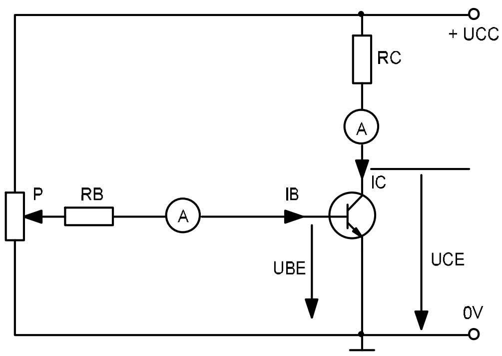
KURVA BESARAN MASUKAN DAN KELUARAN

Kaitan antara arus basis I_B dan arus kolektor I_C pada U_{CE} = konstan di sebut Forward Transfer Characteristic . I_B dapat di kontrol dengan U_{BE} demikian pula I_C . Dengan mengatur P_1, U_{BE} , I_B dan I_C dapat diubah-ubah. (lihat gambar 8.10-a)

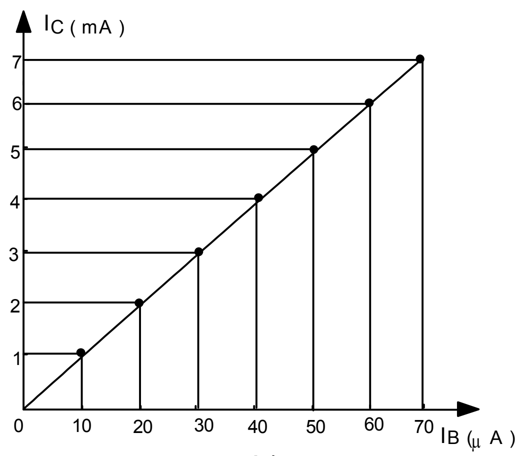
Sedangkan gambar 8.10-b memperlihatkan hubungan I_B dan I_C . Setiap perubahan pada I_B menyebabkan perubahan pada I_C makin besar I_B , makin besar pula I_C .

Perbandingan $\frac{I_C}{I_B}$ di sebut faktor penguatan arus rangkaian common Emitor , di simbolkan dengan h_{FE} .

Jadi : $\frac{I_C}{I_B} = h_{FE}$



a)



b)

Gambar 8.10 Forward Transfer Characteristic

Stabilisasi Titik Kerja :

<u>Hasil penguatan sinyal besar</u>

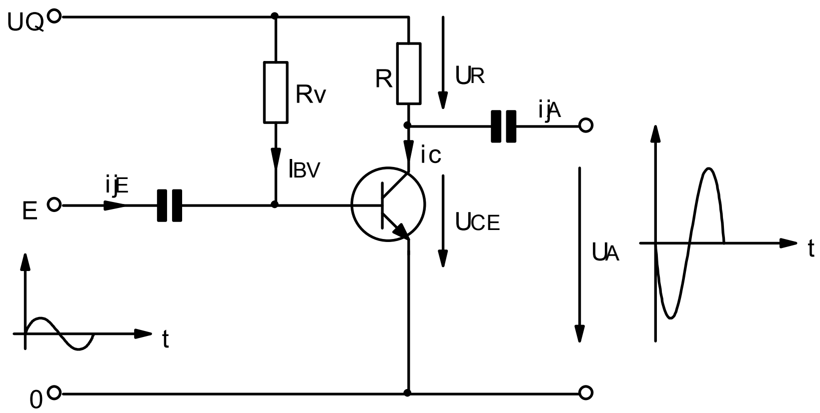
(Pengendalian sinyal besar)

Penguat transistor dalam rangkaian emitor bersama :

masukan : Arus bolak-balik

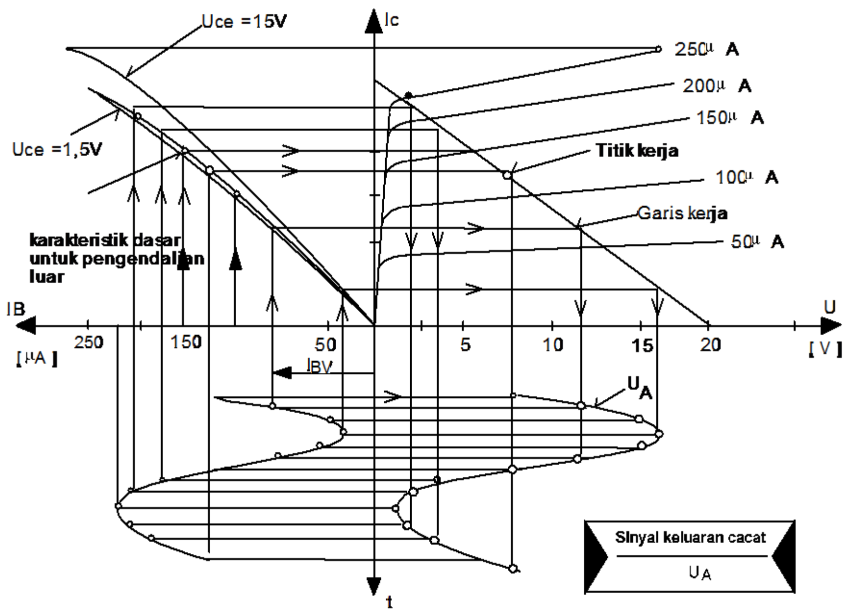
keluaran : Tegangan bolak-balik

: Arus bolak-balik



Terjadilah untuk tegangan sinyal Δ UR = - Δ U_{CE}

Pertengahan Rv terdapat arus tetap $\Rightarrow$ titik kerja

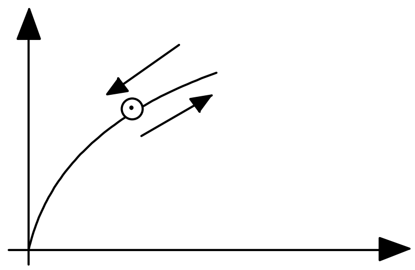


Gambar 8.11 Posisi Titik Kerja - Operasi Penguat

Posisi titik kerja (tingkatan operasi pada sinyal nol) hal ini penting menentukan keadaan daerah kendali luar dan macam operasi penguat.

Dua hal perbedaan :

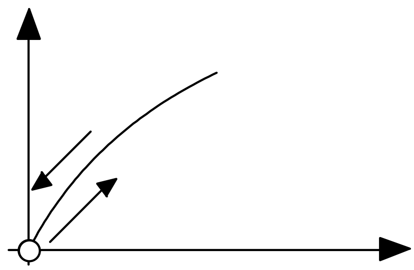
Titik kerja (A) di dalam (di tengah) daerah kendali luar



Penguat bekerja pada klas A

Penguat A

Titik kerja (A) di bawah batas daerah kendali luar



Penguat bekerja pada klas B

Penguat B

F u n g s i

Sinyal secara keseluruhan akan dilewatkan, untuk sinyal kecil, sebagaimana penguatan sinyal besar

Hanya setengah sinyal saja yang dilewatkan → penyearah setengah gelombang, untuk penguatan sinyal besar rangkaian bersama dua penguat klas B .

- melewatkan sinyal penuh
- push pull dengan prinsip penguat klas B

Kombinasi penguat klas A dan B

⇒ Push pull penguat A - B

Penguat Push pull, mengalirkan arus tetap yang lebih kecil .

Sifat fisis klas penguat

Penguat klas A

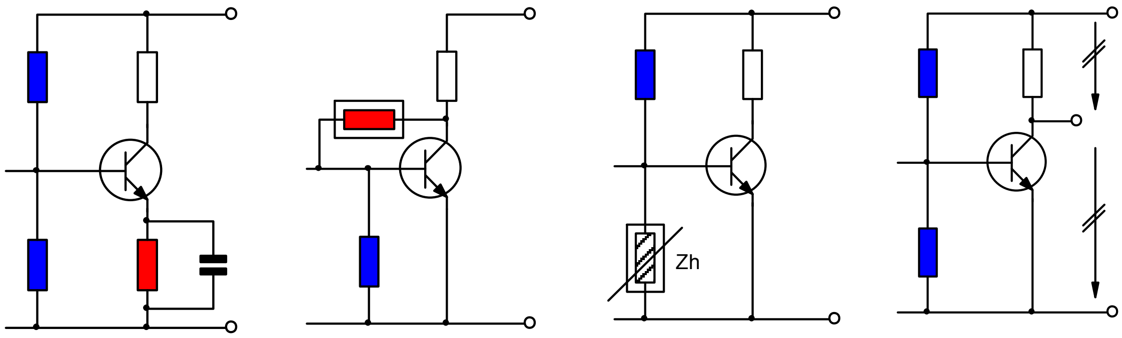
- hanya satu tegangan catu
- kerugian daya besar, pada sinyal sudah nol
- efisiensi lebih kecil

Penguat push pull klas B

- kebanyakan dengan dua tegangan catu (±)
- kerugian daya kecil
- efisiensi besar
- memakai banyak rangkaian

Penempatan dan penstabilan titik kerja

Penstabilan → Pengurangan kuat perambatan panas



Kopling lawan arus searah

Kopling lawan tegangan searah

Tahanan NTC penghantar panas

Metoda setengah tegangan catu

 tahanan dengan Stabilisator

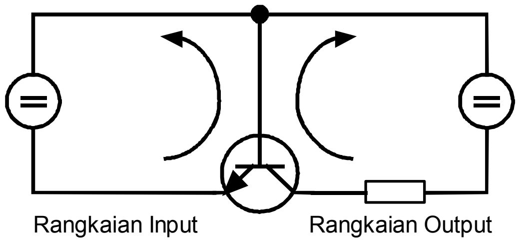
 tahanan tetap

2. Hubungan Dasar Transistor

Dari ketiga hubungan transistor , terdapat satu pola hubungan dimana rangkaian input setara atau sama dengan rangkaian out put

Rangkaian input → penguatan besar

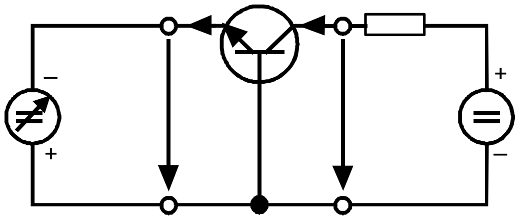
Rangkaian output → hasil penguatan besar



Gambar 8.12 Rangkaian Input-Outpu Transistor

a. Hubungan Basis

Hubungan Pemakaian bersama : basis



Gambar 8.13 Hubungan basis

Besaran input : I_E , U_{EB} Besaran out put : I_C , U_{CB}

Perbandingan pembawa $\prec = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ simbol yang lain :

arus (mengenai titik kerja) h_{fb} , h_{2Ib} , fb

Perbandingan pembawa arus simbol yang lain :

searah (besarnya relatif konstan) $A = \frac{I_C}{I_E}$ h_{FB} , H_{FB} , FB

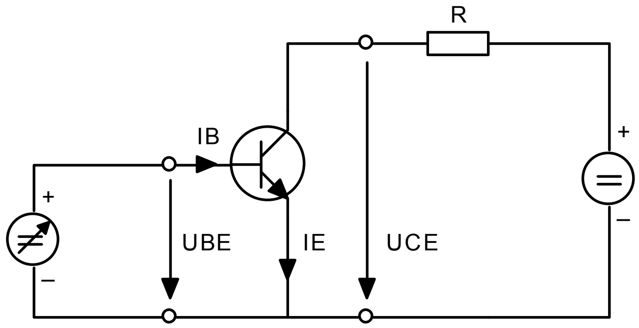
Dengan hubungan basis , besarnya tegangan diperluas , tetapi tanpa penguatan arus

$\Delta U_{CB} = V \Delta U_{EB}$

b. Hubungan Emiter

Hubungan pemakaian bersama : Emiter

→ Pemakaian yang utama dalam beberapa rangkaian yang berbeda , Pemakaian secara universal.



Gambar 8.14 Hubungan emitor

Besaran input : I_B , U_{BE} Besaran out put : I_C , U_{CE}

Penguatan arus : dari basis (input) ke kolektor (output)

Perbandingan pembawa arus : $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ (Penguatan arus)

adalah : $I_E = I_B + I_C$; $I_B = I_E - I_C \rightarrow \Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C$

ataupun : $\Delta I_E = \frac{\Delta I_C}{\prec}$

Juga :

$$\Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{\prec} -$$

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{\prec}{1-\prec}$$ Penguatan Arus

penguatan arus $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ Simbol yang lain :

h_{FE} , H_{21e} , $\prec$ FE

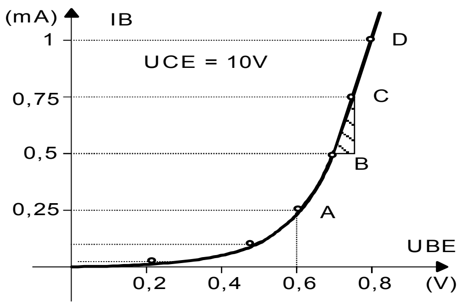
Penguatan arus searah $B = \frac{I_C}{I_B}$ Simbolyang lain:

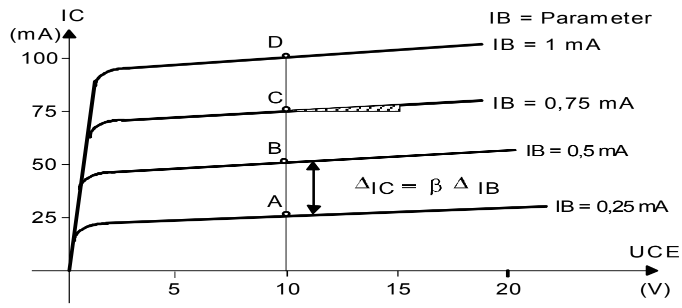
h_{FE} , H_{FE} , $\prec$FE

Dengan hubungan emiter dimaksudkan untuk memperkuat tegangan dan arus !

$\Delta U_{CE} = V \Delta U_{BE}$

Grafik input

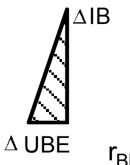




Dioda dalam keadaan arah maju (forward)

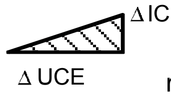
Dioda dalam keadaan arah balik (reverse)

Tahanan input :



$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

Tahanan out put : CE



$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$$

Gambar 8.15 Karakteristik input-output

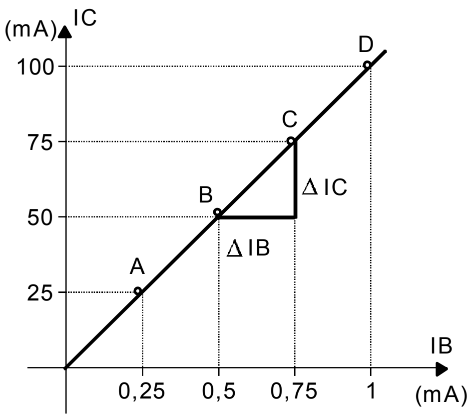
Terjadi saling tergantung antara besarnya input dengan out put

Grafik pengaturan arus

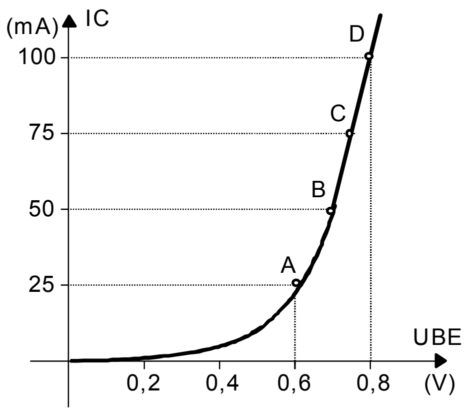
(grafik pembawa arus)

Grafik pengaturan tegangan :

(grafik pembawa hybrid)



Gambar 8.16 kurva Ib = f (Ic)

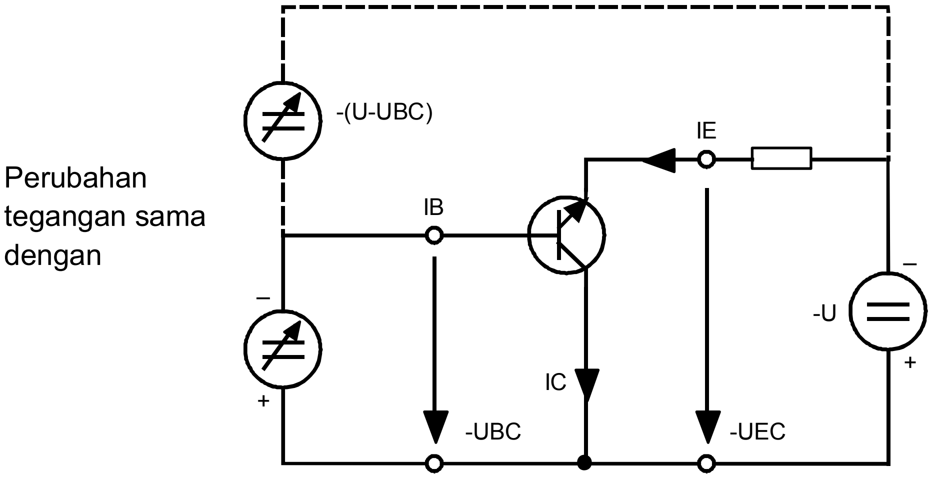


Gambar 8.17 kurva Ib = f (Ube)

c. **Hubungan Kolektor (cc) atau emiter penghasil**

Hubungan pemakain bersama : kolektor

→ berlawanan fungsinya (sifat - sifatnya) dengan hubungan basis .

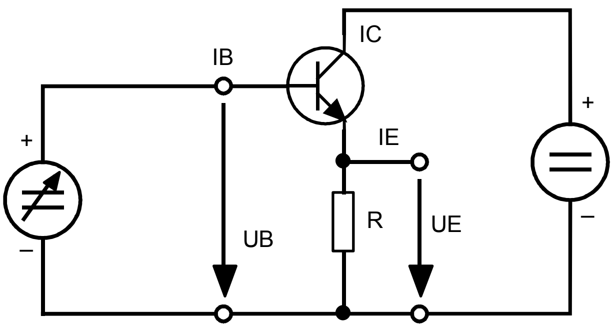


Gambar 8.18 Dasar hubungan kolektor

Besaran input : I_B , U_{BE} Besaran ouput : I_E , U_{EC}

Pembawa arus : dari basis (input) ke emiter (out put)

Rangkaian input 2 pengaturan dari 1 memberikan dan mempunyai fungsi hubungan yang sama → (hal ini) berkaintan dengan kesamaan polaritas dari rangkaian input dan out put sebagaimana pada hubungan basis dan emiter .



Gambar 8.19 Hubungan kolektror

Perubahan pada UE - sama dan diikuti → perubahan pada UA

Pendekatan harga : Emiter mengikuti basis → Emiter penghasil

harganya kembali : IE = IB + IC

dan juga : $\Delta IE = \Delta IB + \Delta IC$

Perbandingan arus pembawa : $\dfrac{\Delta I_E}{\Delta I_B}$

(Penguatan arus)

Maka : $\dfrac{\Delta I_E}{\Delta I_B} = \dfrac{\Delta I_B + \Delta I_C}{\Delta I_B} = 1 + \dfrac{\Delta I_E}{\Delta I_B}$

dengan demikian penguatan arus :

Hubungan kolektor atau emiter penghasil menyediakan kemungkinan besar terjadinya penguatan arus tetapi tanpa penguatan tegangan (pelemahan)

Pendisain bersama (harga yang benar)

	Hubungan Emiter	Hubungan Basis	Emiter Penghasil
Penguatan Arus	Tinggi (100)	Rendah (1)	Tinggi (100)
Penguatan Tegangan	Tinggi (250)	Tinggi (200)	Rendah (0,95)
Tahanan Input	Cukup (600)	Rendah (50)	Tinggi (50 K)
Tahanan Out put	Tinggi (50 K)	Tinggi (1 M)	Rendah (100)

Tugas 29

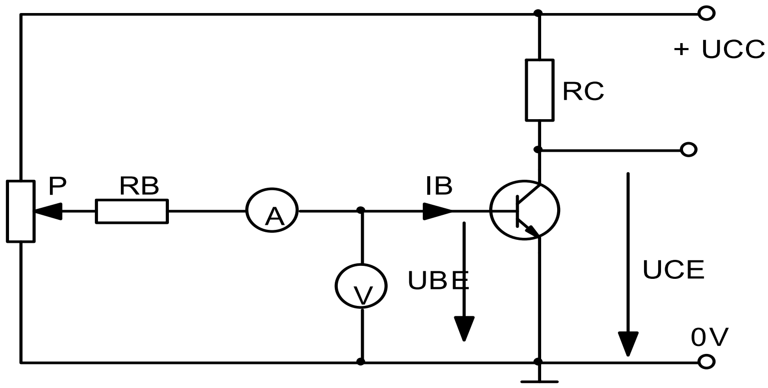
Mengamati Karakteristik Input $I_B = f (U_{BE})$

Untuk lebih memahami tentang transistor, kalian semua harus melakukan pengamatan melalui percobaan berikut, persiapkan semua peralatan yang dibutuhkan.

1. Trainner teknik analog

2. Transistor 2 SB 178
3. Kawat penghubung
4. Potensio 10 K Ohm
5. Resistor 10 K Ohm, 1 K Ohm

Susun rangkaian berikut :



Lakukan langkah-langkah pengamatan berikut berikut :

1. Set Vs pada tegangan 12 Volt DC
2. Atur potensio P hingga arus pada ampermeter IB terbaca seperti data-data pada tabel.
3. Baca tegangan VBE dan VCE setiap kenaikan arus pada IB, masukan pada tabel.
4. Ikuti semua instruksi dan lakukan pengukuran (pengamatan)! Sesuai tabel berikut

IB (µAmp)	VBE (volt)	VCE (volt)	VRC (volt)
2,5			
8			
12			
20			
25			
30			
40			
60			
80			
100			

5. Pelajari dan amati nilai-nilai pada tabel, berikan komentar atau kesimpulan, buat kurva grafik karakteristiknya yang menyatakan hubungan antara arus IB dan VBE ! laporkan kepada guru pembimbing kalian untuk dinilai.

Review :

Besar kecilnya arus kolektor ditentukan oleh apa ?

Berapa arus maksimal untuk transistor dalam percobaan tersebut ? dan didapat dari mana ?

Mengapa dalam percobaan tersebut arus tidak boleh melebihi arus maksimal ?

Tugas tambahan ! carilah pembahasan untuk materi berikutnya tentang transistor sebagai common basis

Tugas 30

MENGAMATI KARAKTERISTIK OUTPUT $I_C = f (U_{CE})$

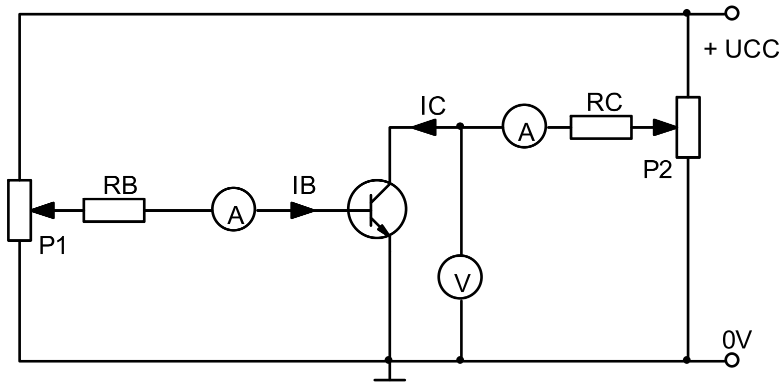
Sebelum malaksanakan percobaan atau pengamatan tentang karakteristik output, pelajari kembali pembahasan tentang karakteristik output suatu transistor yang telah kalian peroleh. Jika sudah memahaminya, lanjutkan pada pengamatan berikut.

Persiapkan terlebih dahulu peralatan dan bahan yang dibutuhkan, seperti :

1. Trainner elektronika analog
2. Transistor BC 107, 2 SB 178 masing-masing 1 buah

3. Resistor 50 K ohm dan 10 K ohm
4. Potensio 100 K Ohm, 2 buah
5. Kabel penghubung
6. AVO Meter

1. Buatlah rangkaian berikut !



2. Berikan tegangan pada rangkaian 12 Volt , atur potensio P1 hingga arus IB terukur 10 µAmp. Dan perhatikan tegangan VCE, catat hasilnya pada tabel !
3. Atur potensio P2 hingga IC terbaca , masukan nilai tersebut pada tabel.
4. Selanjutnya ikuti data-data (nilai) pada tabel dan isikan hasil pengamatan kalian pada tabel tersebut !

VCE (volt)	IC (mAmp)	IB (µAmp)	VEB (volt)	
0,1				
0,2				
0,5				
1				
2				
3				
5				
7				
8				
10				

Hitung dan catat penguatan arus dan penguatan tegangan berdasarkan data-data hasil percobaan.

Gambarkan kurva grafik karakteristik hubungan antara IC dan VCE

Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan tersebut dan laporkan pada gurumu.

Matikan catu daya dan kembalikan semua peralatan ketempat semula.

Review :

Apa yang akan terjadi jika nilai VC berubah, buat deskrisi dari hasil analisa kalian !

Tugas 31

MENGANALISA BESARAN MASUKAN DAN KELUARAN

Kaitan antara arus basis I_B dan arus kolektor I_C pada U_{CE} = konstan di sebut Forward Transfer Characteristic . I_B dapat di kontrol dengan U_{BE} demikian pula I_C . Dengan mengatur P_1, U_{BE} , I_B dan I_C dapat diubah-ubah . (lihat gambar 3-a)

Sedangkan gambar 3-b memperlihatkan hubungan I_B dan I_C . Setiap perubahan pada I_B menyebabkan perubahan pada I_C makin besar I_B , makin besar pula I_C .

Perbandingan $\frac{I_C}{I_B}$ di sebut faktor penguatan arus rangkaian common Emitor ,

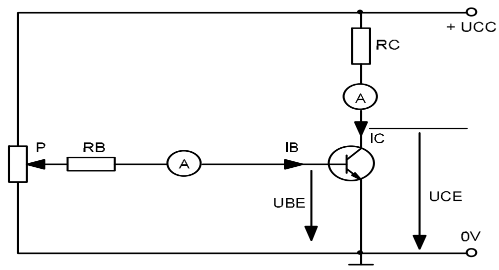
di simbolkan dengan h_{FE} .

Persiapkan peralatan dan bahan

1. Trainner elektronika analog
2. Transistor C 828, BC 107, 2 SB 178
3. 2 buah 100 K Ohm
4. Kabel penghubung

Prosedur pengamatan :

1. Susun rangkaian berikut :



2. Hubungkan rangkaian yang sudah dibuat dengan tegangan 12 Volt DC.
3. Putar potensio P1 pada posisi minimal, Amati arus IB dan arus IC, (0 volt).
4. Atur potensio P secara perlahan, amati IB hingga menunjuk nilai awal tertentu (lihat tabel).
5. Amati pula arus IC, jika terdapat nilai arus, masukan pada tabel. Begitu juga nilai VBE dab VCE. Masukan dalam tabel
6. Sebagai acuan ikuti data-data pada tabel.

IB (µAmp)	IC (mAmp)	VBE (volt)	VCE (volt)
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

7. Simpulkan hasil pengamatan tersebut, lengkapi dengan gambar kurva karakteristik yang menyatakan input dan output !

Tugas 32

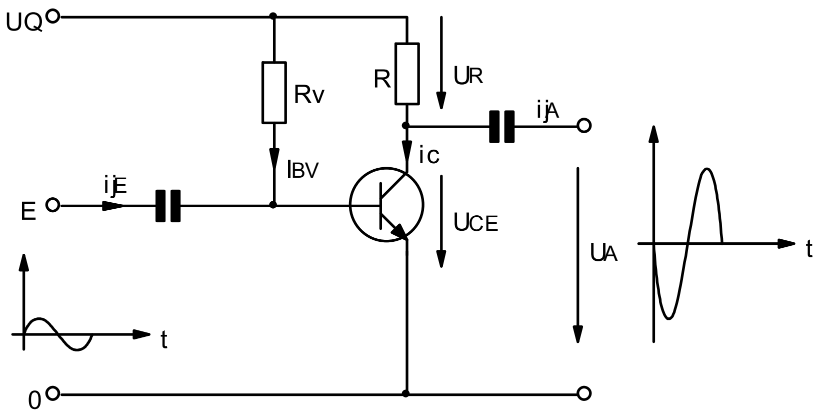
Penguat transistor dalam rangkaian emitor bersama

Kali ini kalian akan mempelajari dan mempraktekan, bagaimana sebuah transistor diberi sinyal input ac, dimana transistor akan berfungsi sebagai penguat sinyal dalam suatu rangkaian elektronika. Bagaimana sinyal output yang dihasilkannya dan bagaimana pula arus yang dihasilkannya. Untuk itu silahkan kalian persiapkan peralatan dan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk penganalisaan ini.

Siapkan :

- satu atau beberapa transistor beberapa jenis dan type
- 2 buah resistor, 10 K ohm dan 4k7
- 2 buah kapasitor, 4,7 μF dan 0,1 μF
- Oscilloscope
- Audio generator

1. Susun rangkaian seperti berikut



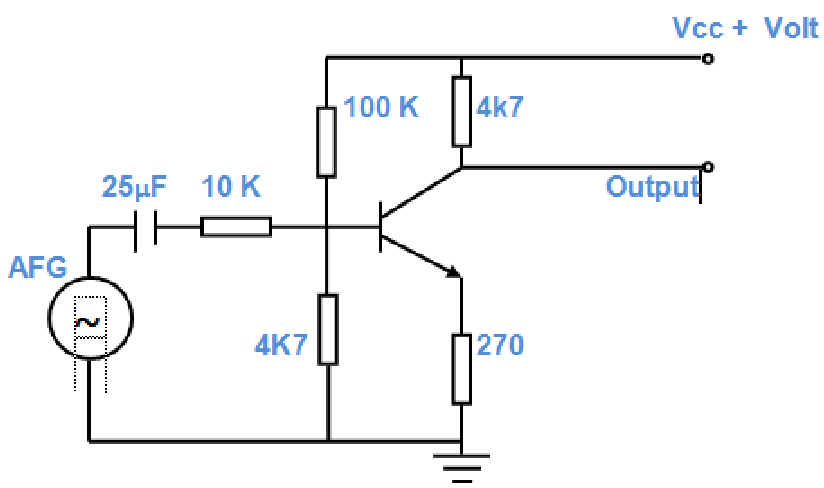
2. Berikan tegangan supply pada rangkaian 12 volt DC
3. Hubungkan input sinyal pada output AFG, output AFG (nol Volt)

4. Hubungkan output dari rangkaian pada Oscilloscope.
5. Atur output AFG secara perlahan hingga menunjukan atau set pada frekuensi 1 K Hezt
6. Amati output rangkaian berupa sinyal gelombang sinusioda . Catatan : atur frekuensi AFG hingga input tidak cacat. dengan melihat layar oscilloscope.
7. Coba kalian bandingkan apa yang ditunjukan sinyal input dengan sinyal output,
8. Lanjutkan pengamatan kalian dengan beberapa harga variabel sinyal input (maksimal 2Vp-p),amati setiap ada perubahan pada sinyal output
9. Gambarkan hubungan bentuk gelombang pulsa input dan outputnya.
10. Simpulkanhasil mpengamatan kalian buat dalam laporan untuk diperiksa !

Tugas 33

Impedansi Input :

Berikut pengukuran impedansi input pada rangkaian common emitor. Persiapkan kembali peralatan dan bahan yang diperlukan



Prosedur pengamatan :

1. Susun kembali sirkit seperti diatas. Dan tempatkan AFG pada input dengan frekuensi 1 KHz dan Oscilloscope pada output rangkaian.
2. Atur AF Generator sampai didapat sinyal mendekati cacat pada oscilloscope
3. Catat level generator pada kondisi langkah 2, dan catat output rangkaian
4. Hitung besarnya penguatan berdasarkan langkah 3
5. Sisipkan R 10 K antara C 25 µF dengan kaki basis.
6. Atur kembali level AF Generator untuk mendapatkan bentuk gelombang output mendekati cacat.
7. Ukur tegangan pada R 10 K denngan menggunakan oscilloscope VR 10 K = ...Volt
8. Ukur tegangan basis dan emitor VBE = ...Volt.
9. Hitung arus dan impedansi inputnya !

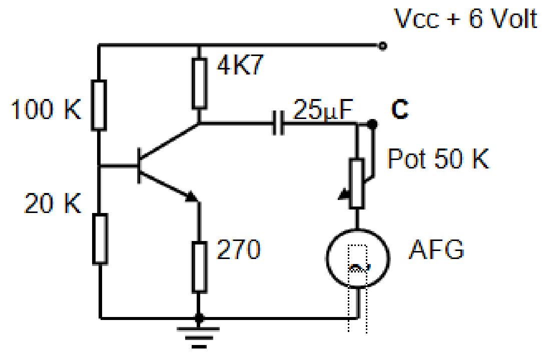
Simpulkan hasil pengatan ini, buat laporannya !

Tugas 34

Impedansi Output :

Pada percobaan kali ini kalian akan mengamati impedansi output pada rangkaian transistor common emitor. Persiapkan kembali peralatan dan bahan yang diperlukan.

Buat rangkaian sebagai berikut :



Langkah pengamatan :

1. Tempatkan AF generator seperti pada gambar dan tempat kan oscilloscope pada titik **C.**
2. Atur output AF generator sebesar 1 Vp-p.
3. Ukur potensio 50 K tanpa mengubah atau memutarnya, nilai ini adalah nilai impedansi output pada rangkaian Zout = ...
4. Matikan catu daya dan kembalikan peralatan dan bahannya ketempat semula.
5. Buat laporan dari hasil pengamatan ini !.lengkapi dengan gambar-gambar yang menyatakan hubungan input dan outputnya !

Tugas 35

d. Penguat transistor sebagai common kolektor

Rangkaian common kolektor sangat banyak digunakan pada rangkaian penguat daya dimana besarnya arus output sangat diperhatikan. Rangkaian common coldektor dikenal pula denngan nama Emittor Follower karena terminal outputnya ada pada kaki emittor. Unsur utama yang harus dipahami pada pengamatan rangkaian ini adalah harus adanya resistor pada kaki emittor ke ground untuk mendapatkan tegangan output pada kaki emittor. Tegangan dan arus yang diukur memiliki sejumlah persamaan dengan pengukuran common emittor, kecuali rumus penguatan arus yakni IE/IB. Pengamatan yang dilakukan akan menunjang terhadap perhitungan impedansi DC yakni kondisi rangkaian sebelum input diberikan.

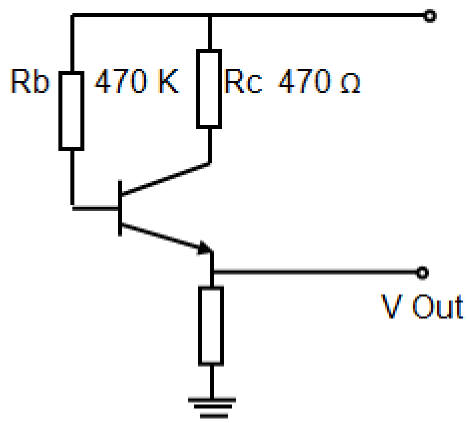
Untuk memulai pelaksanakan pengukuran pada percobaan kali ini, fahami terlebih dahulu mengenai karakteristik common colektor ini.

Carilah beberapa pengayaan tentang transistor.

Apabila kalian sudah mengetahui tentang common kolektor, dan untuk meyakinkan, coba persiapkan beberapa peralatan dan bahan peraktek yang dibutuhkan, seperti :

Power supply variabel, AVO meter, transistor C828, resistor 470 Ohm, 1 K Ohm dan 470 K Ohm.

Susun rangkaian seperti berikut :



Ukurlah tegangan DC yang terdapat pada kaki transistor dengan mengubah tegangan catu, isikan pada tabel dibawah.

V.Catu Daya	V Basis	V Kolektor	V Emittor	VBE
3 V				
4 V				
5 V				
6 V				
7 V				
8 V				
9 V				

Perhatikan besarnya arus serta teganan yang terjadi, lakukan pengukuran yang teliti, masukan hasil pengamatan tersebut pada tabel berikut.

V sumber	R Basis	IB	IE	IC	VRB	VBE
6 Volt	100 K					
	220 K					
	470 K					
9 Volt	100 K					
	220 K					
	470 K					

Dari hasil pengukuran atau pengamatan tadi, coba kalian beri komentar kemudian simpulkan !

Amati pengaruh tegangan output DC sebagai fungsi dari perubahan tahanan emittor, tuliskan hasilnya pada tabel berikut. Tegangan sumber dipertahankan tetap 9 Volt.

Resistor Emittor	Tegangan Emittor	Arus kolektor
100 Ohm		
470 Ohm		
1 K Ohm		
2,7 K Ohm		

Bagaimana kaitan antara perubahan resistor dengan besarnya tegangan output dan arus kolektor ?

Berikan komentar !

Lakukan perhitungan terhadap penguatan rangkaian dengan menggunakan data sebagai berikut. Tegangan sumber 9 Volt dan resistansi kolektor 470 Ohm, masukan pada tabel berikut :

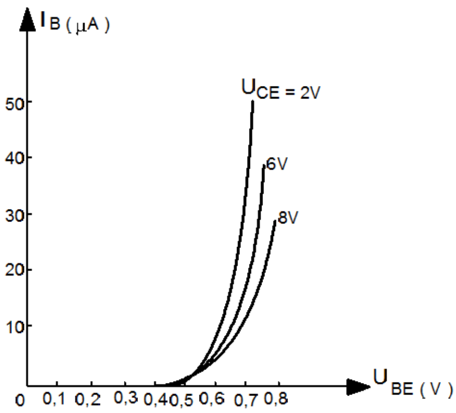
R Basis	R Emittor	I Basis	I kolektor	Penguatan
470 K	470 Ohm			
	1 K Ohm			
220 K	470 Ohm			
	1 K Ohm			

Matika semua sumber daya, bereskan seluruh peralatan yang telah digunakan dan kembalikan ke tempat semula.

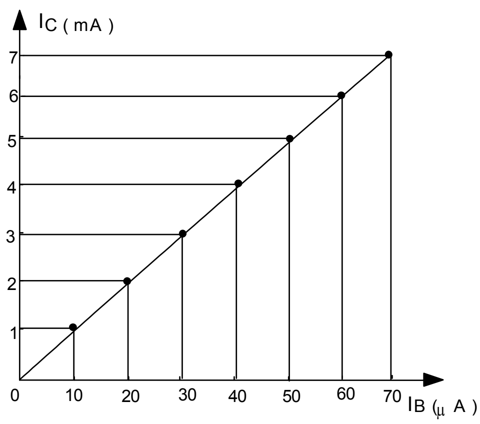
Buatlah kesimpulan dari seluruh hasil percobaan dengan cara merangkum hasil kesimpulan-kesimpulan di atas. Tekankan terhadap pencapaian tujuan pelajaran ini. Kumpulkan laporan segera untuk mendapatkan nilai.

Berfikir kritis :

1. Jelaskan secara singkat gambar dibawah ini !



2. Kapan sebuah transistor bekerja pada kondisi
   a . Saturasi
   b . Cut off
3. Interpretasikan gambar dibawah ini !



4. Bagaimana keadaan arus dan tegangan saat transistor berfungsi sebagai saklar terbuka dan tertutup ?
5. Sebutkan sifat waktu saat transistor pada proses ON - OFF ?

Tugas terstruktur :

1. Tuliskan prinsip pembuatan transistor di fusi !
2. Tuliskan prinsip pembuatan transistor epitaksial !
3. Tuliskan sifat - sifat transistor epitaksial !
4. Bagaimana cara mengatasi kenaikan arus kolektor IC akibat terpengaruh kenaikan suhu ?
5. Apa yang dimaksud dengan frekuensi batas F_G ?
6. Mengapa posisi titik kerja - Operasi penguat dikatakan sangat penting ?
7. Apa perbedaan antara penguat bekerja pada kelas A dan penguat bekerja pada kelas B ?
8. Gambarkan rangkaian dasar penstabilan titik kerja yang diakibatkan perambatan panas dengan menggunakan tahanan NTC penghantar panas !
9. Gambarkan hubungan dasar transistor basis bersama !
10. Gambarkan hubungan dasar transistor emitor bersama !
11. Gambarkan hubungan dasar transistor kolektor bersama !

Tugas 36

PENGUKURAN KURVA KARAKTERISTIK TRANSISTOR DENGAN MENGGUNAKAN CRO (Oscilloscope)

Persiapkan alat dan bahan untuk melakukan pengamatan ini

1. AVO meter digital dan kabel penyidik. 1 buah
2. AVO meter analog dan kabel penyidik. 2 buah
3. CRO dua kanal dan Probe 1 buah
4. Catu daya 0 – 30 Volt
5. Trafo daya 0 -18Volt AC
6. Modul Transistor 1 buah
7. Tahanan 100 Ω 2 buah
8. Tahanan 1 k Ω 1 buah
9. Dioda 1N4007 1 buah

Sebelum melaksanakan pengamatan perhatikanlah hal-hal berikut ini :

- Baca petunjuk teknis pemakaian alat.
- Hati - hati bagian promer transformator adalah tegangan jala-jala 220Vac
- Pemasangan kondensator tidak boleh terbalik polaritasnya
- Setiap akan melakukan percobaanrangkaian, selalu sumber tegangan harus dimatina dahulu
- Perhatikan unsur-unsur keamanan dan kebersihan ruang kerja / bengkel.

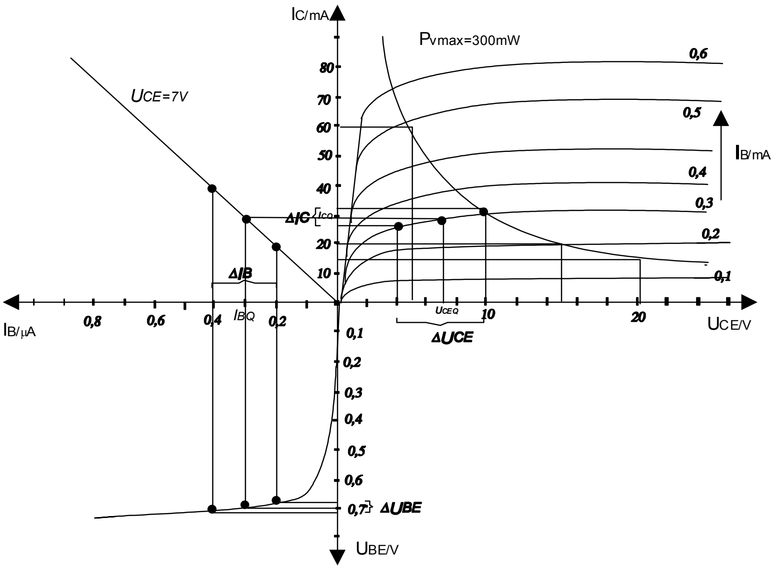
Informasi

Karakteristik Transistor

Penguatan arus DC = B

Tahanan masukan statis = RBE

Tahanan keluaran statis=RCE



Penguatan arus ac = β

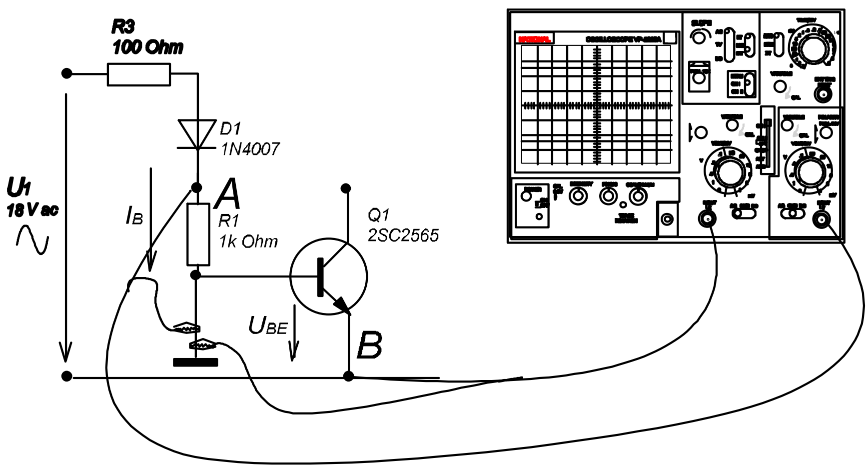
Tahanan masukan dinamis = rBE

Tahanan keluaran dinamis = rCE

Disipasi daya Pvmax = Ic x UCE

Prosedur pengamatan 1 :

Rangkailah rangkaian seperti gambar dibawah ini



Pengukuran karakteristik input

Masa (ground) pada basis transistor

CH1 pada titik B (Volt/div = 1V/cm)

CH2 pada titik A (Volt/div = 1V/cm)

Posisi CRO pada (x - y)

Input U1 berupa tegangan ac 18 Volt

Atur input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi ground, dan tepatkan bintik layar CRO pada posisi T (lihat kolom CRO).

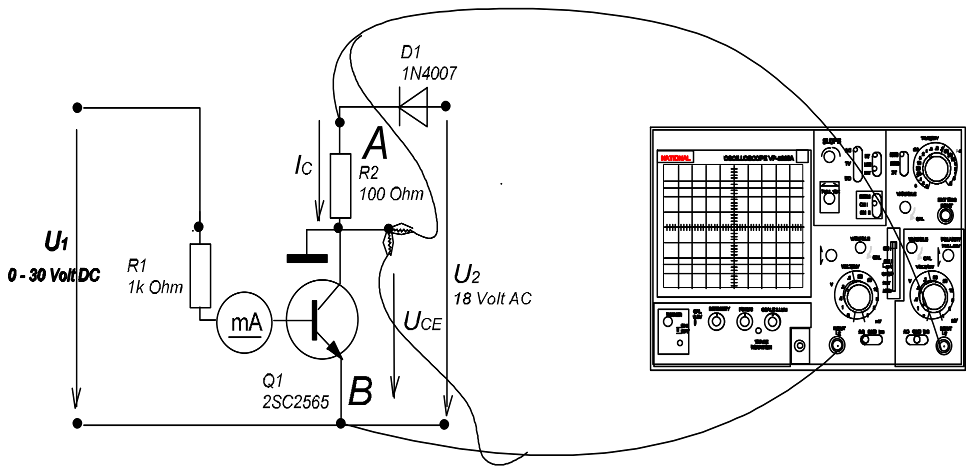
Atur posisi input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi DC

Gambarkan dengan jelas bentuk karakteristik yang ditampilkan oleh layar CRO pada kertas grafik

Tugas 37

Pengamatan 2

Rangkailah rangkaian seperti di bawah ini



Pengukuran karakteristik output $I_C = f(U_{CE})$

Masa (ground) pada kolektor transistor

CH1 pada titik B (Volt/div = 5V/cm)

CH2 pada titik A (Volt/div = 5V/cm)

Posisi CRO pada (x - y)

Input tegangan U1 berupa tegangan DC 0 - 30 Volt

Atur input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi ground, dan tepatkan bintik layar CRO pada posisi T (lihat kolom CRO).

Atur posisi input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi DC

Gambarkan masing – masing bentuk karakteristik yang ditampilkan oleh layar CRO pada kolom CRO di bawah untuk bermacam-macam arus arus basis:

a. I_B = 0mA

b. I_B = 0,2 mA

c. I_B = 0,5 mA

d. I_B = 1 mA

e. I_B = 2 mA

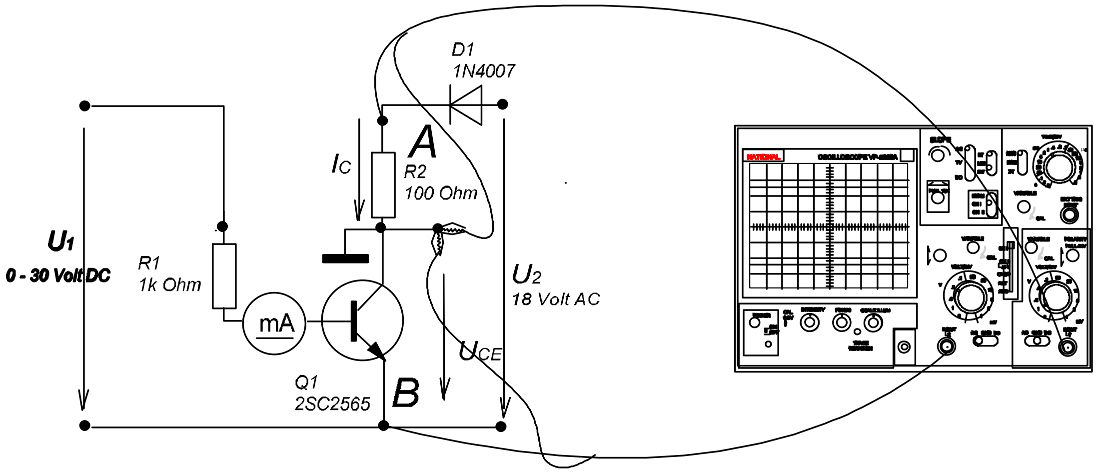
f. I_B = 3 mA

(Pertama atur arus basis I_B dengan mengatur tegangan input DC agar penunjukan amperemeter pada 0 mA. Gambar bentuk kurva yang ditampilkan oleh layar CRO. Naikkan tegangan masukan DC agar penunjukan amperemeter menjadi 0,2 mA. Gambar bentuk kurva yang ditampilkan CRO, demikian juga untuk arus basis 0,5mA, 1 mA, 2mA dan 3 mA. Penunjukan div/cm pada sumbu x CRO (U_{CE}) adalah 1 kolom = 5 Volt ; sedangkan sumbu y CRO (I_C) adalah 1 kolom = 0,05 mA berasal dari perhitungan ➔ (Volt/div) : R2 ➔ (5V):100□□➔ 1 kolom = 0,05 mA

Tugas 38

Pengamatan 3 :

Rangkailah rangkaian seperti di bawah ini



Pengukuran karakteristik output $I_C = f(U_{CE})$

Masa (ground) pada kolektor transistor

CH1 pada titik B (Volt/div = 5V/cm)

CH2 pada titik A (Volt/div = 5V/cm)

Posisi CRO pada (x-y)

Input tegangan U1 berupa tegangan DC 0 - 30 Volt

Atur input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi ground, dan tepatkan bintik layar CRO pada posisi T (lihat kolom CRO).

Atur posisi input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi DC

Gambarkan masing – masing bentuk karakteristik yang ditampilkan oleh layar CRO pada kolom CRO di bawah untuk bermacam-macam arus arus basis:

a. I_B = 0mA

b. I_B = 0,2 mA

c. I_B = 0,5 mA

d. I_B = 1 mA

e. I_B = 2 mA

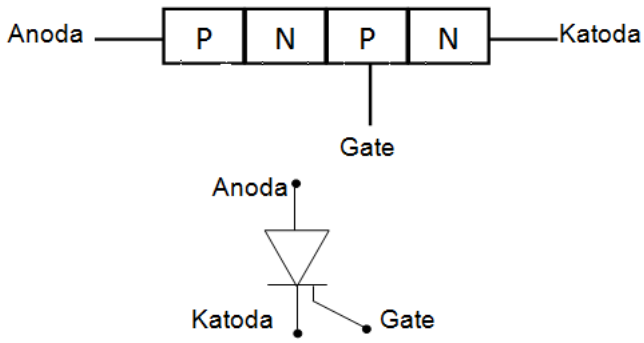
f. I_B = 3 mA

(Pertama atur arus basis dengan mengatur tegangan input DC agar penunjukan amperemeter pada 0 mA. Gambar bentuk kurva yang ditampilkan oleh layar CRO. Naikkan tegangan masukan DC agar penunjukan amperemeter menjadi 0,2 mA. Gambar bentuk kurva yang ditampilkan CRO, demikian juga untuk arus basis 0,5mA, 1 mA, 2mA dan 3 mA. Penunjukan div/cm pada sumbu x CRO (UCE) adalah 1 kolom = 5 Volt ; sedangkan sumbu y CRO (IC) adalah 1 kolom = 0,05 mA berasal dari perhitungan → (Volt/div) : R2 → (5V):100→ 1 kolom = 0,05 mA

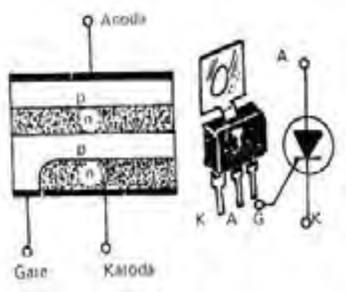
BAB 9

SCR (Silicon Controlled Rectifier)

Sebuah SCR atau disebut juga thyristor dapat berfungsi sebagai penyearah yang terkendali yang terbuat dari silicon yang mempunyaio tiga elektroda dari jenis semikonduktor empat lapis PNPN. Nama dari ketiga elektroda tersebut adalah Anoda (A), Gate (G) dan Katoda (K). SCR dipakai sebagai pengatur daya dan saklar. Penggunaan SCR sebagai pengatur daya dan sebagai saklar sangat menguntungkan dibandingkan dengan saklar mekanik sebab tak ada kontak-kontak yang aus karena terbakar, tidak menjangkitkan busur api dan memerlukan sedikit komponen-komponen tambahan. SCR dapat dipakai untuk mengatur daya yang besar-besar sepertin mesin-mesin listrik, sedangkan SCR itu sendiri memerlukan daya yang kecil saja. Struktur komponen ini seperti diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 9.1 Bentuk dan Simbol SCR



Gambar 9.2 SCR dan Simbol SCR

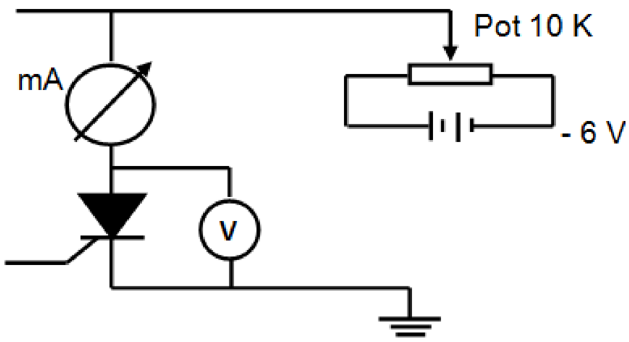
1. Karakteristik SCR

Pemberian bias SCR untuk catu reverse adalah dengan memberikan tegangan anoda lebih negatif atau sama dengan tegangan katoda atau gate diberi tegangan negatif denan catatan SCR dalam keadaan off, karena kondisi ini tidak akan berpengaruh. Pada kondisi anoda negatif dan katoda positif yang disebut catu reverse, bila tegangan anoda dinaikan semakin negatif, maka pada suatu nilai tertentu SCR akan mencapai tegangan break down, tegangan ini akan membuat SCR rusak, oleh karena itu untuk menjaga agar SCR tidak rusak jangan memberikan tegangan mencapai tegangan break down.

Coba kalia cari tahu tentang tegangan break down dan lengkapi dengan gambar atau grafik agar lebih jelas dan informatif !

Prosedur Pengamatan

Siapkan peralatan dan bahan sesuai yang dibutuhkan, lalu buat gambar rangkaian seperti berikut.



Yakinkan posisi potensio pada posisi minimum sehingga teganan pada SCR = 0 volt.

Berikan catu daya pada rangkaian dengan interval 0,5 volt denfan mengatur potensio meter R1, seperti ditunjukan pada tabel, catat hasilnya pada tabel tersebut !

V input	I Anoda	V Anoda
0 V		
0,5 V		
1 V		
1,5 V		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
6 V		

Buat kesimpulan dari hasil pengamatan tersebut !

Review :

Bagaimana cara memberi catu daya reverse ?
Mengapa pemberian catu daya yang berlebihan akan mengakibatkan SCR rusak ?
Apa perbedaan tegangan break down denan teganngan break over ? Jelaskan !
Coba jelaskan cara kerja SCR, kemudian gambarkan kurva karakteristiknya !

Tugas 39

2. Karakteristik SCR Forward

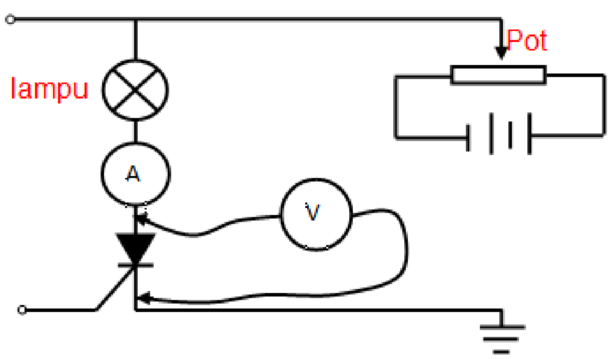
Silicon control rectifier adalah sangat membantu untuk beberapa permasalahan switching mekanik. Dengan rangkaian ekuivalen terdiri dari 2 buah transistor type NPN dan PNP.

Berfikir kritis

Coba kalian cari materi atau pembahasan tentang SCR sebagai bahan pengayaan kalian dengan lengkap, buat dalam bentuk laporan kemudian presentasikan di depan kelas.

Untuk lebih mengetahui kegunaan dan fungsi dari SCR pada berbagai rangkaian elektronik, kalian coba eksperimenkan rangkain SCR berikut :

1. Persiapkan peralatan dan bahan bahan prakteknya. Seperti :
   Catu daya
   Volt meter
   Ampermeter
   SCR 1 buah
   Potensiometer 10 K Ohm
   Penghubung secukupnya
2. Buat rangkaian SCR seperti di bawah ini:



3. Atur kedudukan potensio pada keadaan minimal.
4. Hidupkan catu daya
5. Amati penunjukan amper dan volt meter, catat dan ikuti data-data pada tabel !

I gate (mA)	I Anoda (mA)	V Anoda (Volt)	lampu		
			terang	redup	mati
0					
0,25					
0,5					
0,75					
1					
1,5					
2					
2,5					

6. Atur potensiometer untuk mendapatkan nilai arus yang bervariasi seperti pada tabel diatas.
7. Kembalikan peralatan dan bahan ke tempat semula
8. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan kalian tulis dalam buku laporan !

Review :

Bagaimana cara memberi catu forward pada SCR dan mengapa arus gate semakin tinggi, semakin rendah tegangan break over ?

Tugas 40 :

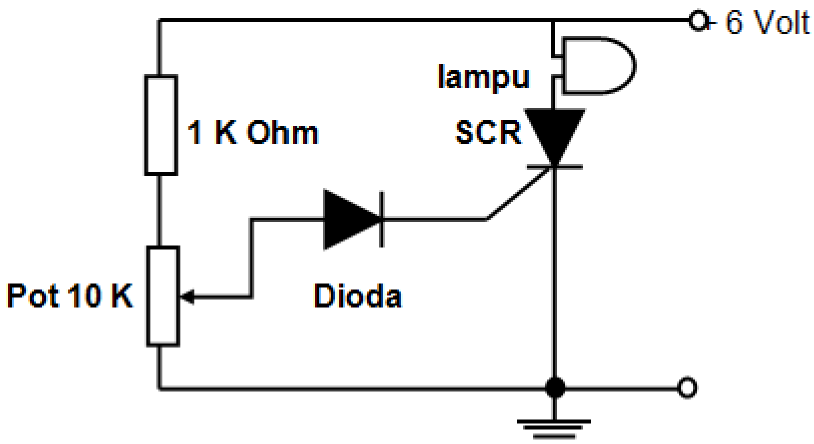
3. Operasi DC Anoda dikontrol tegangan DC pada Gate

Penggunaan SCR sebagai operasi DC-DC gate adalah memberikan catu DC pada kaki-kaki anoda dan katoda arah forward yaitu anoda diberi tegangan positip dan katoda diberi tegangan negatip dengan catu daya sebagai pengontrol DC, yaitu pemberian catu DC pada gate. Tegangan

yang diberikan pada gate SCR melewati R1 dan potensio serta dioda, untuk meyakinkan bahwa tagangan yang diberikan pada gate adalah benar-benar positip dan bila ada perubahan negatip tidak akan di lalukan. Jika level tegangan positip maka SCR akan bekerja dan lampu akan menyala dan bila potensio diatur pada posisi minimum, SCR akan tetap bekerja dan lampu tetap akan menyala.

Coba kalian yakinkan penjelasan di atas tersebut dengan melalui percobaan berikut :

1. Siapkan peralatan dan bahan yang diperlukan seperti percobaan-percobaan yang sudah.
2. Buatlah rangkaian seperti berikut;



3. Yakinkan kembali bahwa posisi potensio pada posisi minimal, sehingga tegangan pada gate 0 volt.
4. Hidupkan catu daya
5. Amati keadaan lampu dan tulis hasilnya, ukur tegangan jatuh pada lampu
6. Atur potensio sehingga lampu menyala minimal (redup sekali) , ukur tegangan pada kaki gate dengan ground dan cata hasilnya.
7. Naikan lagi tegangan gate dengan mengatur potensio pada posisi maksimum. Amati keadaan lampu dan ukur tegangan gate dengan ground. Begitu juga dengan tegangan jatuh pada lampu. Cata hasilpengukurannya.

8. Atur potensio pada arah minimal kembali sehingga tegangan gate mendapat catu 0 volt kembali, amati mkeadaan lampu dan catat hasil pengamatannya.
9. Atur potensio meter sehingga tegangan gate mendapat catu + kembali dan amati lampu dan tegangan jatuhnya.
10. Lepaskan jamper yang menghubungkan anoda dan catu daya , amati apa yang terjadi ?
11. Hubungkan kembali jumper yang menghubungkan antara anoda dan gate tanpa mengubah potensio (tegangan gate). Amati sebagai bahan kesimpulan dari percobaan ini.
12. Matikan sumber daya dan bereskan serta kembalikan peralatan pada posisi semula
13. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan ini !

Review :

Coba kalian jelaskan cara kerja SCR dengan tegangan anoda DC yang dikontrol oleh tegangan DC

Mengapa syarat SCR on, jika tegangan gate diatur pada posisi minimum/ off, SCR tetap bekerja. Jelaskan ! buat deskripsinya

Tugas 41

4. Operasi AC Anoda di kontrol tegangan Gate

Pengayaan :

Pemberian catu SCR anoda dengan AC dan gate dengan DC akan membuat SCR bekerja secara on/off mengikuti polaritas tegangan dan frekuensi 50 Hz. Dan sebanyak itu pula SCR on/off tegangan gate DC yang tetap SCR akan konduksi setiap perioda anoda +.

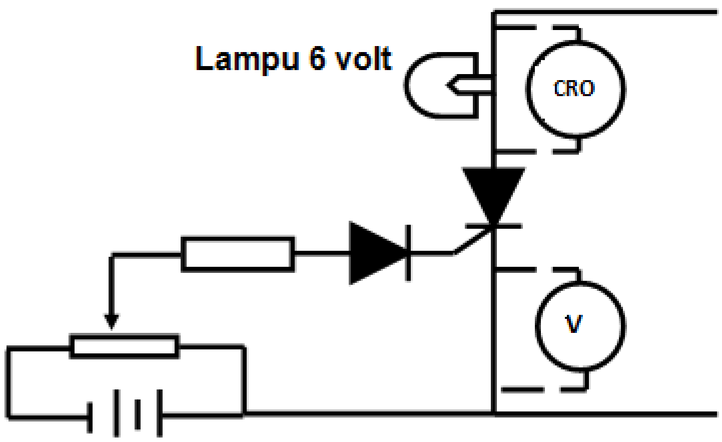
Berfikir kritis .....

Bagaimana bila tegangan gate di beri 0 volt, apa akibat pada rangkaian atau SCR ?

Persiapkan alat dan bahan untuk memulai percobaan ini, agar kalian bertambah yakin apa yang telah kalian ketahui tentang SCR !

1. Oscilloscope
2. Volt meter
3. Dioda 1N4004
4. Resistor 1 K Ohm
5. Kawat penghubung
6. Trainer elektronika dasar

1. Susunlah oleh kalian rangkaian seperti berikut !



2. Yakinkan posisi potensio pada kedudukan minimum,hingga tegangan gate o volt. Hidupkan catu daya. Dan amati keadaan lapu, catat hasilnya.
3. Ukur tegangan jatuh pada lampu dan catat pada tabel.
4. Atur kembali posisi potensio sampai lampu menyala, ukur tegangan jatuh pada lampu, dan amati bentuk gelombangnya.

5. Atur kembali potensio hingga maksimum dan amati keadaan lampu, catat hasilnya.

Tabel Pengamatan

Potensio meter	VRL (DC)	V Gate (AC)
Minimal		
Medium		
maksimal		

Tabel Pengamatan bentuk gelombang

Potensio meter	Bentuk gelombang	
	Gate	RL/Lampu
Minimal		
Medium		
maksimal		

6. Matikan sumber tegangan pada rangkaian, kembalikan semua peralatan pada tempatnya dengan tertib dan rapi.
7. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan ini !

Review :

Jelaskan cara kerja SCR dengan tegangan anoda AC dan gate DC !
Jelaskan mengapa SCR untuk anoda tegangan AC setelah SCR bekerja tergantung pada tegangan gate ?

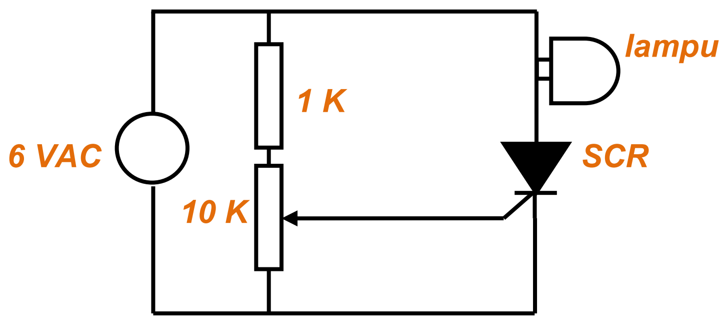
Tugas 42

5. Operasi AC anoda dikontrol tegangan AC pada Gate

Pada percobaan ini bagaimana dampak yang terjadi pada rangkaian tegangan anoda Acdikontrol dengan tegangan gate DC. Ketika tegangan AC yang diberikan pada gate dan anoda pada SCR, setelah siklus positip pada tegangan gate dan tegangan setengah perioda positif lainnya, pada

kaki anoda akan mengakibatkan SCR bekerja setengan perioda dan pada saat setengan perioda negatip lainnya SCR akan reverse dan SCR berhenti bekerja.

Susunlah rangkainnya seperti berikut :



Yakinkan posisi poptensio pada kedudukan minimal sehingga tegangan pada gate o volt.

Hidupkan catu daya pada posisi on.

Amati keadaan lampu dan catat pada tabel.amati bentuk gelombangnya

Atur kembali potensio sampai lampu menyala, catat tegangan jatuhnya.

Amati bentuk gelombangnya; pada ujung-ujung lampu

Tabel Pengamatan Tegangan

Potensio meter	VRL (DC)	V Gate (AC)
Minimal		
Medium		
maksimum		

Tabel Pengamatan bentuk gelombang

Potensio meter	Bentuk gelombang	
	Gate	RL/Lampu
Minimal		
Medium		
maksimal		

Kembalikan semua peralatan , buat kesimpulan berdasarkan percobaan yang telah kalian laksanakan.

Review :

Jelaskan cara kerja SCR dengan tegangan anoda AC dan gate AC !

Dapatkah SCR bekerja terus bila gatenya dilepas ? Diskusikan dengan kelompokmu ! sampaikan pendapat kalian pada guru !

Tugas 43

6. Operasi SCR untuk tegangan AC di kontrol oleg tegangan yang bergeser Phasa pada Gate

Pengayaan ....

Pada percobaan ini kalian akan mengetahui kerja SCR dengan tegangan anoda AC dikontrol oleh tegangan gate yang berbeda phasa dengan tegangan anoda.pergeseran phasa sebagai pengontrol pada gate sangat sederhana dan efektip untuk mengontrol arus yang melewati

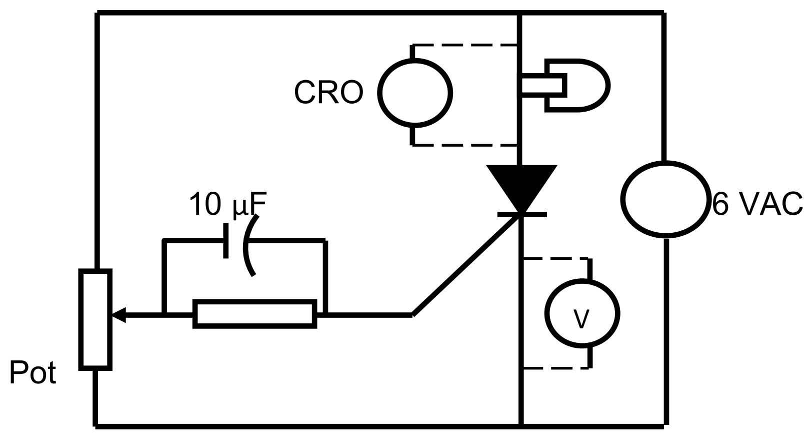
anoda dan beban. Metoda ini sering digunakan untuk mengontrol daya lampu, pemanas, motor dan catu daya. Dengan mengatur perbedaan phasa antara anoda dan dengan gate, tegangan AC dapat diberikan pada beban untuk mengontrol beban hanya pada setengah gelombang positip dengan phasategangan anoda. SCR akan bekerja jika tegangan gate dan tegangan anoda sama-sama positip mengontrol pada bagian setengan gelombang positip. SCR akan melakukan pengaturan sudut phasa tegangan AC yang diberikan anoda.

Kontrol pergeseran phasa pada tegangan output dapat dilihat pada gambar bagian A, tidak ada perbedaan phasa antara anoda dan teganngan gate begitu juga output akan lengkap setengah gelombanng positip penuh. Sedangnkan pada gambar B diperlihatkan out put untuk pergeseran phasa kira-kira 45° antara tegangan anoda dan gate, pada gambar bagian C diperlihatkan output untuk pergeseran phasa kira-kira 90° antara tegangan anoda dan katoda.

Cara untuk mendapatkan tegangan gate yang berbeda phasa yaitu dengan memasang kapasitor dan untuk merubah pergeseran phasanya dengan mengatur potensio padakedudukan minimum.

Persiapan pengamatan :

Rangkailah komponen-komponen yang sudah kalian persiapkan seperti berikut :



Yakinkan kembali bahwa potensio pada kedudukan minimal

Aktifkan catu daya, amati bentuk gelombang sepanjang lampu dengan menggunakan oscilloscope.

Atur potensio meter pada posisi medium atau penunjukan 10 K Ohm. Ulangi langkah tadi dan catat hasilnya pada tabel

Atur posisi potensio pada posisi maksimum atau menu njukan 20 K ohm. Ulangi lagi langkah sebelumnya dan cata hasilnya pada tabel.

Potensio meter	Bentuk gelombang
Minimum	
medium	
maksimum	

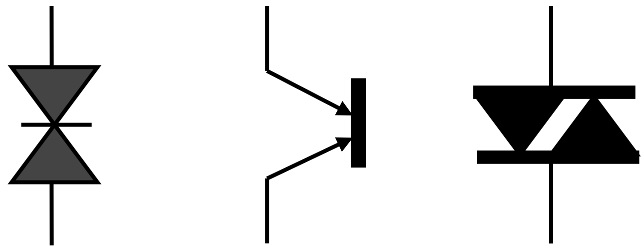
Buat kesimpulan dari hasilpengamatan kalian dan tulis dalam buku laporanmu. Perlihatkan pada guru untuk mendapat penilaian

Kembalikan semua peralatan pada tempatnya denganbaik dan tertib!

BAB 10
DIAC , TRIAC DAN UJT

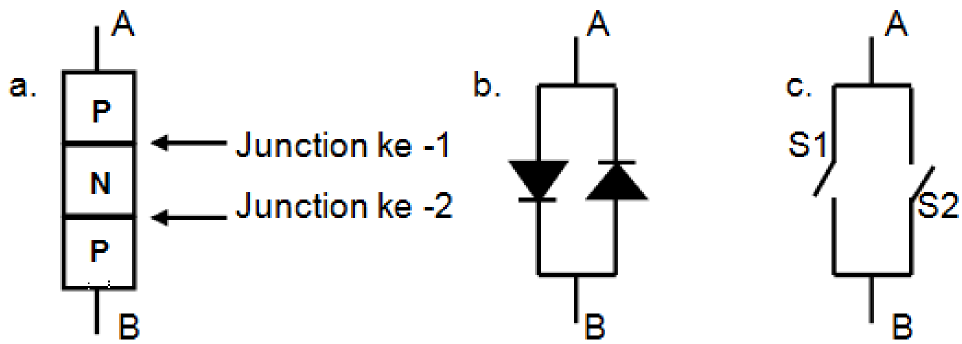
1. Diac

Diac adalah dua buah dioda yang disusun secara berlawanan, seperti pada gambar dibawah.



Gambar 10.1 simbul Diac

Diac dapat mengalirkan arus bolak balik,yang artinya bergantian Forward bias dan reverse bias bila diberi tegangan pada elektrodanya. Sebenarnya susunan diac hampir sama dengan transistor,namun elektrodanya Cuma dua dan mempunyai dua junction seperti gambar dibawah berikut.



Gambar 10.2 a.susunan diac

b.Rangkaian diac

c.Rangkaian ekuivalen

Apabila titik A adalah titik muatan positif,maka junction ke -1 pada forward bias, sedangkan junction ke-2 pada keadaan reverse bias.

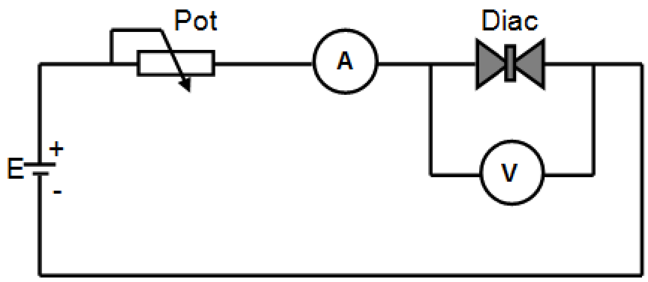
Pada titik A tegangan positif terhadap titik B,maka setelah tegangan tertentu dapat menembus tegangan breakdown sehingga arus mengalir pada diac. Demikian juga apabila titik B tegangannya lebih positif terhadap titik A sampai menembus junction ke-1,maka arus mengalir melalui diac.

Coba anda jelaskan cara kerja diac pada gambar diatas apabila diberi tegangan DC dan AC !

Tugas 44

Karakteristik Diac

Untuk lebih memahami karakteristik diac, susunlah sirkit berikut ini.



Berikan arus forward pada diac dengan cara mengatur potensio, amati amper meter dan volt meter, ikuti pengamatan ini melalui nilai-nilai didalam tabel berikut !

I diac (mA)	E diac (volt)
0	
0,25	
0,5	
0,75	
1	
1,5	

Matikan sumber daya, rubahlah polaritas dari sumber daya tersebut untuk mendapatkan arus reverse pada diac. Amati kembali penunjukan ampermeter dan volt meter.
Ulangi langkah-langkah seperti tadi dan catat hasil pengamatan kalian, masukan pada tabel.

I diac (mA)	E diac (volt)
0	
0,25	
0,5	
0,75	
1	
1,5	

Gambarkan kurva karakteristik diac dari hasil pengamatan tersebut yang menyatakan hubungan arus dengan tegangan.

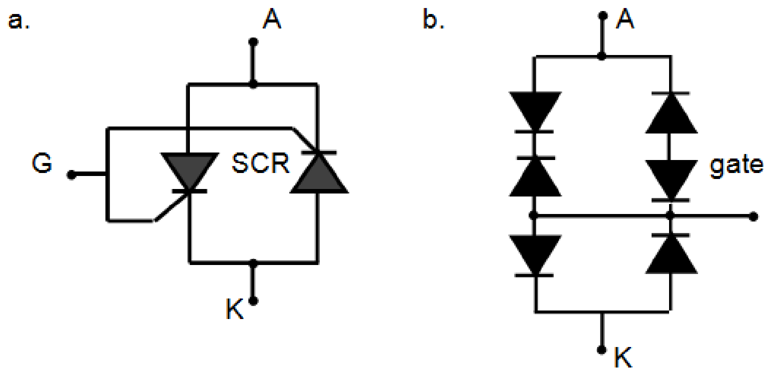
Untuk diperhatikan !
Ulangi langkah-langkah pengamatan tersebut untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat.

Buat kesimpulan dari hasil percobaan ini, laporkan kepada guru pembimbing untuk mendapat penilaian.

Review
Diac banyak sekali digunakan pada rangkaian-rangkaian kontrol listrik, baik yang sederhana maupun yang komplek. Coba anda sebuatkan dua macam kegunaan diac !

2. Triac

Triac adalah kependekan dari kata Triode Alternating Current Switch atau saklar trioda untuk arus bolak-balik. Berdasarkan skema pengganti, triac ini terdiri atas dua buah SCR yang disusun secara antiparalel seperti gambar berikut :



Gambar 10.3 konstruksi Triac

a. Rangkaian triac yang anti paralel dari SCR

b. Konstruksi dalam triac

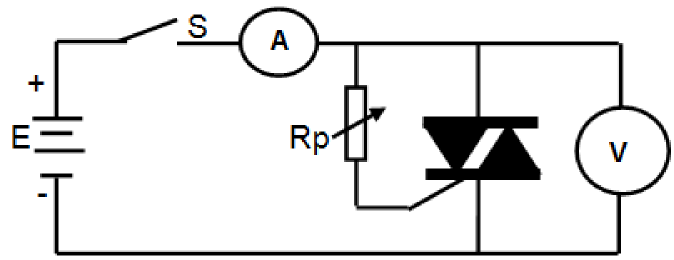
Berfikir Kritis

Coba kalian pelajari pembahasan diatas, kemudian buatlah rangkaian pengganti dari triac sebagai saklar. Dan gambarkan simbul serta rangkaian penggantinya !

Jelaskan pula cara kerjanya !

Prosedur pengamatan

Siapkan peralatan dan 1 buah triac, kemudian susun sirkit seperti berikut:

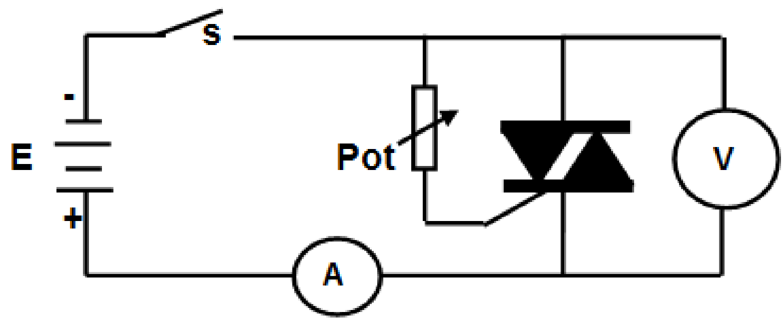


Tutup saklar S untuk mendapat ***forward bias*** pada triac. Potensio dalam keadaan minimal. Perhatikan amper meter dan volt meter, bila terdapat nilai penunjukan , catat pada tabel.

Putar potensio perlahan-lahan hingga amper meter terbaca. Ikuti nilai penunjukan amper meter (arus forward bias) pada tabel berikut.

Arus forward bias	Tegangan jatuh pada triac
0	
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
.....	
.....	
....	E Triac = E sumber

Buka saklar S, kemudian rubah polaritas dari sumber tegangan agar triac mendapat ***reverse bias*** **seperti gambar berikut :**

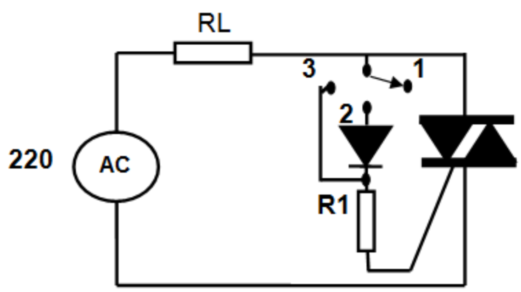


Ulangi seperti langkah-langkah sebelumnya dan sesuaikan dengan tabel berikut !

Arus forward bias	Tegangan jatuh pada triac
0	
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
....	E Triac = E sumber

Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan, lengkap dengan gambar kurva/ karakteristik dari triac tersebut kedalam laporan dan perlihatkan kepada Bapak/ibu guru pengajar !

Review :



Coba kalian terangkan cara kerja rangkaian tersebut di depan kelas !

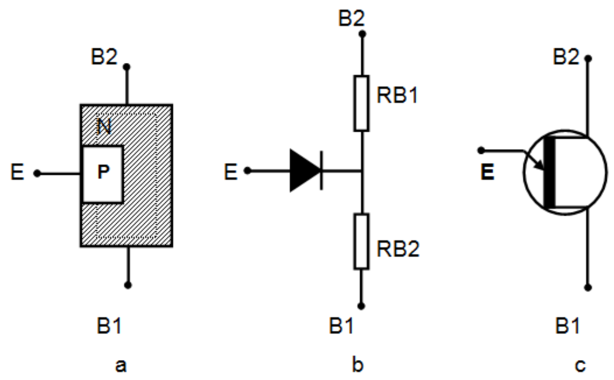
3. UNI JUNCTION TRANSISTOR (UJT)

Pengayaan

UJT merupakan komponen semikonduktor yang dinamakan “dioda dengan dua basis”, yang bentuk fisiknya sama dengan transistor. Semikonduktor ini mempunyai tiga buah elektroda yang disebut basis 1,

basis 2, dan emitor sehingga namanya disebut *uni junction transistor* sebab hanya memiliki satu junction PN.

Gambar susunan, rangkaian pengganti, serta simbol IJT seperti berikut :



Gambar 10.4 a Susunan dioda junction

b.Rangkaian pengganti

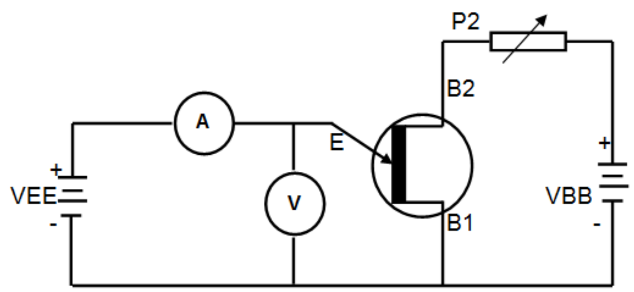
c.Simbol UJT

Pada umumnya tahanan antar B2 denngan B1 berkisar dari 4000 Ω sampai 12.000 Ω dan *instrinsik standoff* ratio-nya (η) = (0,45 – 0,85).

Tugas 45

Prosedur pengamatan

Untuk mengetahui cara kerja atau karakteristik UJT, kalian harus membuat rangkaian seperti berikut :



Gambar 10.5 Rangkaian percobaan UJT

Kalian tetapkan VBB konstan, misalnya 0 Volt dan P1 diatur sehingga meter A dan V menujukan 0 (nol).

Atur P1 pelan-pelan hingga meter A dan V menunjukan suatu harga (mulai dari 1 Volt dan seterusnya) seperti tertera pada tabel dan catat pula nilai yang ditunjukan A dan V .

Laksanakan berulang-ulang pemutaran potensiometer P1 dan catat hasilnya pada tabel.

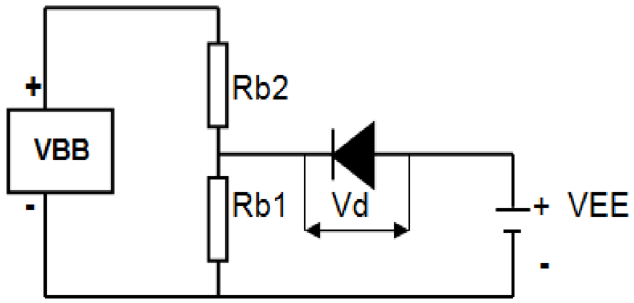
I Emitor (mA)	V UJT (Volt)
0	
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	

Buatlah gambar kurva dari karakteristik UJT tersebut data-data yang kalian dapatkan. Kemudian simpulkan dan deskrisikan seluruh hasil pengamatan yang telah kalian lakukan.

Selanjutnya rubah menjadi nilai konstan untuk VBB = 10 Volt, VBB = 20 Volt, dan VBB = 30 Volt. Ulangi langkah-langkah tadi dan buat tabelnya oleh kalian sendiri dari ketiga nilai baru tersebut. Catat seluruh hasil pengamatannya kemudian buat kesimpulan menyeluruh kedalam bentuk laporan.

Review :

Pada gambar dibawah ini



Vd = 0,7 Volt

VE = 12,7 Volt

Rb1 = 8 K Ohm

VBB = 15 Volt

Berapakah :

a. Rb2

b. VB1

Kumpulkan jawabannya untuk dinilai !

DAFTAR PUSTAKA

BSC; *Rangkaian Elektronika Dasar*; Ganeca Exact; Bandung; 1990;

Cooper W.D., 1985, *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Jakarta : Erlangga.

Edminister, Joseph A, Ir Soket Pakpahan, *Teori dan soal-soal Rangkaian Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1988.

F. Suyatmo, *Teknik Listrik Instalasi Penerangan*, Rineka Cipta, 2004

Fundamental Electrical Instrumentation, Singapore : Yokogawa.

Fowler, R.J. (1994). *Electricity, principles and applications (4th ed.)*. Singapore: McGraw-Hill.

Grob, B. (1997). *Basic electronics (8th ed.)*. New York: Glencoe McGraw-Hill.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik jilid I,* Erlangga, Jakarta 1982.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik jilid II*, Erlangga, Jakarta 1982.

J. B. Gupta, *Utilization of Electric Power and Electric Traction*, 4th Edition, Jullundur City, 1978

John B Robertson. (1995). *Keterampilan Teknik Listrik Praktis*. Bandung : Penerbit YRAMA WIDYA.

Kenneth G.Oliver ,1990 *Basic Industrial Electricity*, Industrial Press Inc

Malvino Hanapi Gunawan; *Prinsip-prinsip Elektronik*; Erlangga; Jakarta; 1984;

Maton, A., Hopkins, J., Johnson, S., LaHart, D., Warner, M.Q., & Wright, J.D. (1994). *Electricity and magnetism*. New Jersey: Prantice Hall.

Setiawan dan Van Harten. (1985). *Instalasi Listrik Arus Kuat I*. Bandung : Penerbit Bina Aksara.

Schuler, C.A., & Fowler, R.J. (1993). *Electric circuit analysis*. Singapore: McGraw-Hill.

Sapiie S., Nishino O., 1979, *Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik*., Jakarta : Pradnya Paramita.

Theraja, *Fundamental of Electrical Enginering and Electronics*, S Chand & Co (PUT) LTD, New Delhi, 1976

Wasito S; *Vademekum Elektronika*; Gramedia; Jakarta; 1986 Distrelec , elektronic Total